



Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimus 2012

SEINÄJOEN SEUDUN BIOINDIKAATTORITUTKIMUS VUONNA 2012

TIIVISTELMÄ

Seinäjoen seudulla on tutkittu ilmanlaatua ja ilman epäpuhtauksien vaikutuksia kasvillisuuteen 1990-luvun vaihteesta lähtien. Vuonna 2012 tutkimus toteutettiin Seinäjoen, Ilmajoen, Lapuan, Kuortaneen, Alavuden, Kauhajoen, Karijoen, Isojoen, Teuvan, Kurikan, Jalasjärven, Ähtärin, Vimpelin, Alajärven, Soinin, Töysän ja Kauhavan alueilla yhteensä 95 mäntyhavaintoalalla, 41 sammalhavaintoalalla ja neljällä sammalpallohavaintoalalla. Näyteverkosto oli tiheimmillään kuormitetuimmilla Seinäjoen ja Ilmajoen alueilla. Bioindikaattoreina selvityksessä käytettiin männyn runkojäkäliä, männyn neulaskatoa, sekä männyn neulasten, metsäsammalnäytteiden ja sammalpallojen alkuainepitoisuuksia.

Tieliikenteen aiheuttamat typenoksidi-, hiukkas- ja rikkidioksidipäästöt ovat vähentyneet tutkimusalueella 2000-luvun tarkastelujaksolla. Teollisuuslaitosten ilmaan kohdistuvissa päästöissä ei sen sijaan ole nähtävissä selvää trendiä, vaan kehitys on ollut lähinnä aaltomaista. Suurimmat päästöt tutkimusalueella syntyvät Seinäjoella.

Mäntysten keskimääräinen harsuuntuneisuus oli säilynyt vastaavalla tasolla kuin aikaisempaan tutkimusajankohtana vuonna 2006. Vuonna 2012 keskimääräinen harsuuntuneisuus oli 13 % ja yli puolella männystä neulaskadon määrä oli vähäistä (alle 10 %). Puu katsotaan harsuuntuneeksi kun sen neulaskato ylittää 20 %. Harsuuntuneiksi arvioituneiden puiden määrä oli hieman kasvanut tutkimusajankohtien välillä; vuonna 2012 noin 14 % tutkimuspuista arvioitiin harsuuntuneiksi kun luku vuonna 2006 vain 5 %.

Männyn runkojäkälien lajilukumäärä ja ilmanpuhtausindeksin (IAP) perusteella jäkäälajisto oli tutkimusalueella keskimäärin köyhtynyt. Tutkitut muuttajat olivat heikentyneet hieman edelliseen tutkimusajankohtaan siten, että lajistoltaan köyhtyneet alueet olivat köyhtyneet lisää. Selvästi köyhtyneet alat sijaitsivat Seinäjoen taajama-alueella sekä Ilmajoella, mutta myös paikallisesti tutkimusalueen pohjoisosassa Kauhavalla ja Vimpelissä. Toisaalta kuormitettujen alueiden havaintoalakohtaisissa tuloksissa oli myös huomattavia eroja ja vaihtelevuutta paikallisella tasolla. Tutkimusalueen lajirikkaimmat ja vähiten lajistoltaan vaurioituneet alueet sijoituivat sen eteläosiin Isojoelle, Kauhajoelle, Alavudelle ja Ähtäriin kuten edellisenä tutkimusajankohtana.

Neulasten keskimääräiset rikkipitoisuudet olivat hieman alhaisemmat kuin edellisellä tutkimuskerralla 2006. Pitoisuudet ovat säilyneet tutkimusalueella melko vakaalla tasolla vuodesta 1995 lähtien, mikä on myös päästötrendien mukainen tilanne. Sen sijaan neulasten mangaani-, magnesium-, kupari- ja rautapitoisuudet olivat jatkaneet kasvuaan edellisiin tutkimusvuosiin nähden. Edellä mainituista rautapitoisuudet olivat kaksinkertaistuneet vuoteen 2000 verrattuna.

Sammalten alkuainepitoisuuksissa mitattiin edellisen tutkimusajankohdan tapaan korkeimmat pitoisuudet Seinäjoen Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä ja Nurmon taajama-alueen koillispuolella. Valtaosa alkuaineiden pitoisuuksista (alumiini, elohopea, kadmium, kupari, lyijy, rauta, rikki, sinkki ja vanadiini) olivat vähentyneet aikaisempiin tutkimusajankohtiin nähden. Kromi, magnesiumin, natriumin ja nikkelin pitoisuudet olivat puolestaan suurentuneet tutkimusajankohtien välillä.

Seinäjoen taajama-alueelle sijoitettujen sammalpallojen alkuainepitoisuuksissa suurimmat pitoisuudet mitattiin pääosin Kapernaumin teollisuusalueen läheisyydessä sijainneelta näytealalta. Sammalpallojen alkuainepitoisuudet olivat osin sekä vähentyneet että suurentuneet (mm. rauta- ja kuparipitoisuus) verrattuna vuoden 2006 tutkimusajankohtaan.

SISÄLTÖ

1.	JOHDANTO	3
2.	TUTKIMUSALUE	4
2.1	Yleistä	4
2.2	Ilmanlaatu	5
2.2.1	Ilmaan kohdistuvat päästöt	5
2.2.2	Paikalliset ilmanlaatumittaukset	7
3.	AINEISTO JA MENETELMÄT	8
3.1	Havaintoalat	8
3.2	Havupuiden neulaskadon, eli harsuuntuneisuuden arvioiminen	10
3.3	Jäkäläkartoitus	11
3.4	Neulasten alkuainepitoisuudet	16
3.5	Sammalnäytteiden alkuainepitoisuudet	17
3.6	Sammalpallojen alkuainepitoisuudet	18
3.7	Aineiston käsittely ja tulosten esittäminen	18
4.	TULOKSET	19
4.1	Havaintoalojen tiedot ja mäntyjen elinvoimaisuus	19
4.2	Männyn runkojäkälät	21
4.3	Sormipaisukarpeen ja jäkälälajiston yleiset vaurioasteet	21
4.4	Sormipaisukarpeen peittävyys ja levän yleisyys	24
4.5	Lajimäärät	27
4.6	IAP-indeksi	29
4.7	Neulasten alkuainepitoisuudet	30
4.8	Sammalten alkuainepitoisuudet	39
4.9	Sammalpallojen alkuainepitoisuudet	46
5.	TULOSTEN TARKASTELU	47
5.1	Taustamuuttujien vaikutus ja muuttujien välinen riippuvuus	47
5.2	Vertailu alueella aiemmin laadittuihin tutkimuksiin	49
5.3	Jäkäläkartoitus	51
5.4	Männyn neulaskato	54
5.5	Neulasten alkuainepitoisuudet	55
5.6	Sammalten alkuainepitoisuudet	58
5.7	Sammalpallojen alkuainepitoisuudet	59
5.8	Vertailu muualla Suomessa tehtyihin tutkimuksiin	60
5.8.1	Mäntyjen harsuuntuneisuus	60
5.8.2	Männyn runkojäkälät	61
5.8.3	Neulasten alkuainepitoisuudet	61
5.8.4	Sammalten alkuainepitoisuudet	62
6.	JOHTOPÄÄTÖKSET	63
	LÄHTEET	

82139661
18.12.2012

1. JOHDANTO

Bioindikaattori on eliö, osa eliötä tai eliöyhteisöä, joka sisältää tietoa ympäristön ja ekosysteemin laadusta, niihin kohdistuvasta stressistä ja toimivuudesta (Lodenius ym. 2002, Markert ym. 2004). Bioindikaattorin rakenteen, toiminnan, kemiallisen koostumuksen tai alkuainepitoisuuden muutoksen perusteella voidaan osoittaa esimerkiksi epäpuhtauksien esiintymistä, levinneisyyttä ja vaikutuksia ympäristössä (SFS 5670).

Ilman epäpuhtauksista aiheutuvia kasvillisuusvaikutuksia on seurattu bioindikaattorimenetelmien avulla Seinäjoen seudun metsissä 1990-luvun vaihteesta lähtien. Bioindikaattoritutkimuksissa on selvitetty männyn neulaskatoa, männyn neulasten alkuainepitoisuuksia sekä metsäsammalnäytteiden ja sammalpallojen alkuainepitoisuuksia. Tässä selvityksessä selvitettiin ilman epäpuhtauksien vaikutuksia männyn epifyyttijäkäliin, mäntyjen elinvoimaisuuteen, sekä männyn neulasten, metsäsammalnäytteiden ja sammalpallojen alkuainepitoisuuksiin.

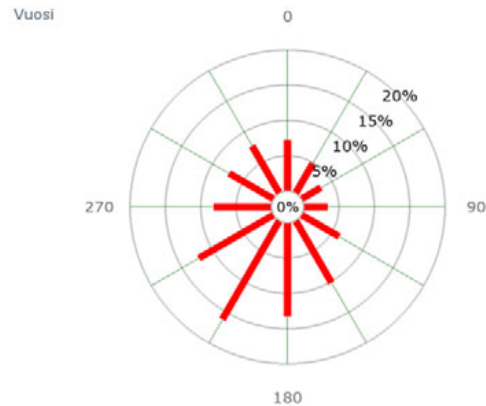
Vuosina 1989/1990, 1995 ja 2000 bioindikaattoriseurannat toteutettiin Seinäjoen, Nurmon ja Ilmajoen alueilla. Vuonna 2006 havaintoalueverkostoa laajennettiin kattamaan yhteensä 19 Seinäjoen ympäristössä sijaitsevan kunnan alueet. Vuonna 2012 selvitykseen osallistui yhteensä 17 kuntaa ja bioindikaattoriseuranta toteutettiin yhteensä 137 havaintoalalla. Näistä 95 havaintoalalla toteutettiin mäntyjen elinvoimaisuusselvitys, jäkäläkartoitus sekä selvitettiin männyn neulasten alkuainepitoisuuksia. Seinäjoen ja Ilmajoen alueella sijaitsevilla 41 havaintoalalla selvitettiin seinäsammalen alkuainepitoisuuksia. Lisäksi Seinäjoen ja Ilmajoen alueella sijaitsevia neljä sammalpalloalaa.

Tutkimuksen tilaajina ovat ja tutkimus on laadittu Seinäjoen, Ilmajoen, Lapuan, Kuortaneen, Alavuden, Kauhajoen, Karijoen, Isojoen, Teuvan, Kurikan, Jalasjärven, Ähtärin, Vimpelin, Alajärven, Soinin, Töysän ja Kauhavan alueilla. Lisäksi tutkimuksen tilaajina ovat Vaskiluodon Voima Oy, Valio Oy, Adven Oy, Atria Suomi Oy, Hankkija-Maatalous Oy, Seinäjoen Energia Oy, Ilmajoen Lämpö Oy, Vapo Oy, Lemminkäinen Infra Oy, NCC Roads, Altia Oyj ja Ruukki Construction Oy. Tutkimuksen on toteuttanut Ramboll Finland Oy tilaajien toimeksiannosta. Tutkimuksen maastotöihin ovat osallistuneet FM, biologi Sari Savolainen, FM, maantieteilijä Kirsi Lehtinen, ins., luontokartoittaja (EAT) Ville Yli-Teevahainen sekä assistentti Tiina Kujala. Näytteet on analysoitu Ramboll Analytics Oy:n laboratoriossa Lahdessa. Laboratorioanalytiikasta on vastannut FM, kemisti Sami Tyrväinen. Selvityksen raportoinnista on vastannut FM Kirsi Lehtinen ja MMM Antti Lepola. Työtä on ohjannut ympäristötarkastaja Saara Kurki Seinäjoen kaupungista.

2. TUTKIMUSALUE

2.1 Yleistä

Seinäjoen seutu lukeutuu eliömaantieteellisessä aluejaossa Keskipohjoiselle vyöhykkeelle ja siinä edelleen Pohjanmaahan. Alue on topografiaoloiltaan varsin alavaa ja loivapiirteistä. Alueen maisemakuvaa hallitsevat laajat viljovat jokilaaksot, joiden välisillä selännealueilla pinnanmuodot voivat olla vaihteleviakin. Jokivarsilla maaperä on hienojakoista ja lajittunutta, selänneilla ja maaston painanteissa esiintyy moreenimaita ja turvekankaita. Maaston lakialueilla on paikoin kalliopaljastumia. Metsät ovat mäntyvaltaisia kuivia ja kuivahkon kankaan metsiä. Kuusi yleistyy maaston painanteissa ja rinteillä. Tutkimusalueella vallitsevat etelän- ja lounaanpuoleiset tuulet.



Kuva 2-1. Tuulensuuntien suhteelliset osuudet tutkimusalueella vuositasona (Tuuliatlas 2009).



Kuva 2-2. Tutkimuskunnat

2.2 Ilmanlaatu

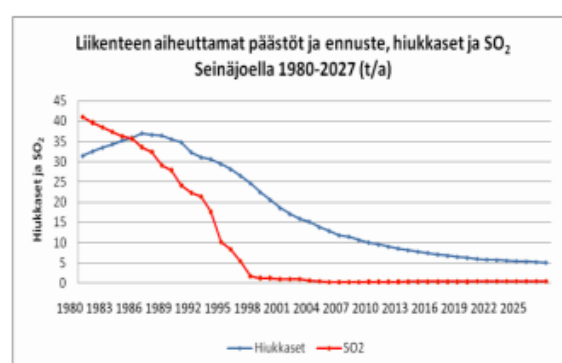
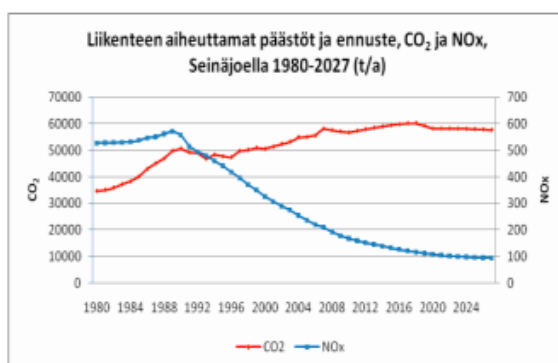
2.2.1 Ilmaan kohdistuvat päästöt

Seuraavat tiedot ovat raportista Ilmanlaatu Seinäjoen seudulla 2011 (Kyntäjä 2011).

Seinäjoella suurin päästöjen aiheuttaja on liikenne. Tieliikenteen arvioidut päästöt Seinäjoen seudulla 2011 on esitetty seuraavassa (Taulukko 1). Hiilidioksidipäästöt nousevat polttoaineenkulutuksen kasvaessa.

Taulukko 1. Tieliikenteen päästöennuste Seinäjoella 2011. (LIISA 2007 -laskentaohjelma / Kari Mäkelä)

t/a	SO ₂	Nox	Hiukkaset	CO ₂
Seinäjoki	0,36	158,93	9,05	57 312



Kuva 2-2. Tieliikenteen hiilidioksidi- ja typenoksidipäästöt sekä hiukka- ja rikkidioksidipäästöt Seinäjoella vuosina 1980–2028 (LIISA 2007 -laskentajärjestelmä).

Ilmoitusvelvollisten laitosten päästöjen kehitys Seinäjoen seudulla on pitemmällä aikavälillä tarkasteltuna ollut aaltomaista. Osaltaan tilanteeseen on vaikuttanut päästökauppa ja sähköntuotannon vaihtelut. Päästömäärät ovat suoraan verrannollisia tuotettuun energiamäärään.

Seinäjoelle tehdyn ilmapäästöjen mallinnuksen mukaan energiatuotanto- ja teollisuuslaitosten päästöt eivät ole kriittisiä tekijöitä Seinäjoen kaupungin ilmanlaadun kannalta.

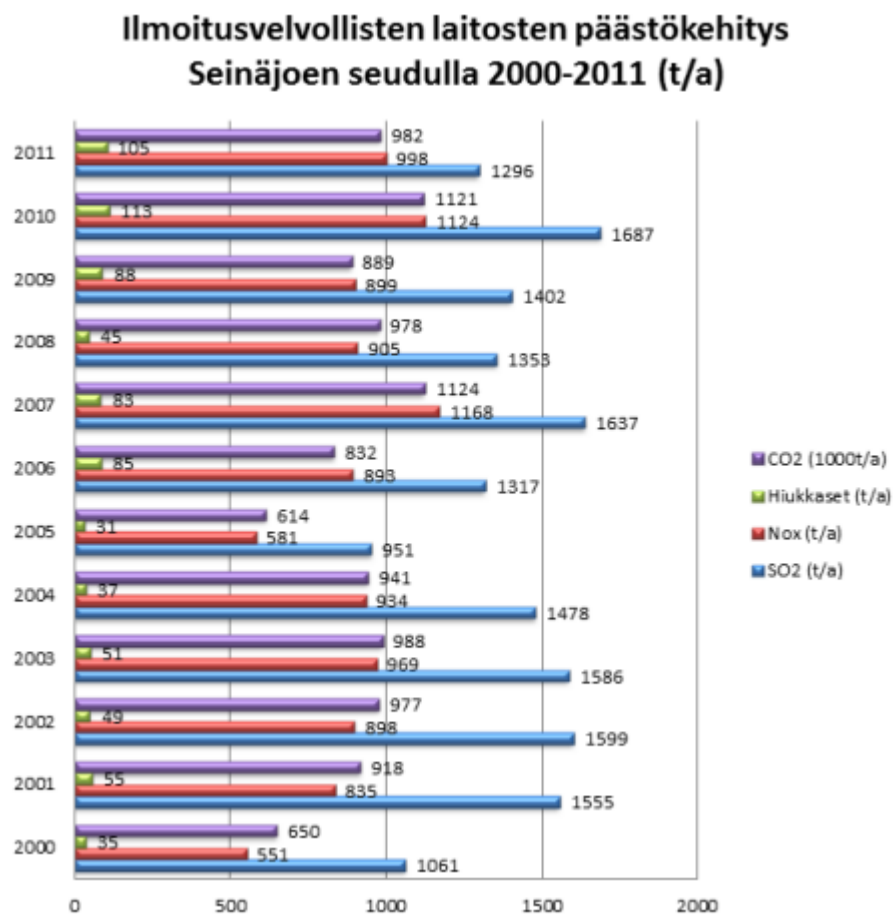
Taulukko 2. Ilmoitusvelvollisten päästöt Seinäjoen seudulla 2011.

Päästöt 2011

Tuotantolaitos	Hiukkaset (t/a)	SO ₂ (t/a)	Nox (t/a)	CO ₂ (t/a) Fossiili	CO ₂ (t/a) Bio	CO ₂ (t/a) Yht.	VOC (t/a)
Altia Oyj, Koskenkorvan tehdas	3,12	22,63	44,63	44977,00	22431,00	67408,00	1,00
Atria Suomi Oy / Vapo Oy Nurmon kattilat	12,90	70,56	73,74	30866,67	120,70	30987,37	
Atria Suomi Oy / Seinäjoki	0,24	6,46	3,61	1219,05		1219,05	
Fortum Power and Heat Oy / Ylistaro	3,3	9,8	7,1	3072,00	573,00	3645,00	
Hankkija-Maatalous Oy / Fortum Power and Heat Oy	1,48	13,9	6,5	3517,00		3517,00	
Kurikan kaukolämpö Oy / Ilmajoen lämpölaite	2,57	16,96	26,71	15991,92		15991,92	
Lemminkäinen Infra Oy, Kalliosalo	2,77	10,58	4,10	2018,00		2018,00	
NCC Roads Oy, Saarentien asfalttiasema Seinäjoki	0,67	4,36	1,96	836,00		836,00	
Ruukki Construction Oy / Peräseinäjoki ***							54,48
Seinäjoen Energia Oy Hanneksenrinne	2,40	32,32	12,98	5088,46		5088,46	
Seinäjoen Energia Oy Kapernaumi	14,41	94,62	51,27	31517,96		31517,96	
Seinäjoen Energia Oy Kasperi	0,01	0,05	0,12	59,36		59,36	
Seinäjoen Energia Oy Peräseinäjoki	9,32	17,46	11,31	6700,44		6700,44	
Seinäjoen Energia Oy Puhdistamonkatu	0,22	2,96	1,19	465,95		465,95	
Valio Oy / Seinäjoen tehdas	2,70						0,00
Valio Oy / Fortum Power and Heat Oy	1,33	60,2	57,7	24244,00	13728,00	37972,00	
Vapo Oy / Haukinevan pellettitehdas	1,60	28,09	30,43	14067,00		14067,00	
Vaskiluodon Voima Oy / Seinäjoen voimalaitos	46,20	905,30	664,40	591754,10	168595,00	760349,10	21,16
Yhteensä	105,24	1296,25	997,75	776394,91	205447,70	981842,61	76,64

**ilmoitusvelvollisuus VOC-päästöjen osalta

Ohessa (Taulukko 2) on eriteltynä Seinäjoen seudun ilmoitusvelvollisten laitosten päästöt vuonna 2011. Seuraavassa (Kuva 2-3) on ilmoitusvelvollisten laitosten päästöt CO₂, hiukkasten, SO₂ ja NO₂ osalta vuosilta 1999–2011.



Kuva 2-3. Ilmoitusvelvollisten laitosten päästöt vuosina 2000–2011.

2.2.2 Paikalliset ilmanlaatumittaukset

Seinäjoen ilmanlaadun mittausasemalla laitteistona on:

- kemiluminesenssiin perustuva typen oksidien mittauslaite
- PM₁₀-hiukkasten mittauslaite
- säähavaintolaitteet

Mittaustulokset kerätään, arkistoidaan ja raportoidaan ohjelmistolla, ja tiedot on mahdollista lukea valtakunnallisesta Ilmanlaatuportaalista.

Vuoden 2011 aikana ilmanlaadun mittauskopin sijaintia muutettiin hieman kerrostalotyömaan taa. Siirto vaikuttaa vuositasolla tehtävään mittaustulosten vertailtavuuteen. 10.3.2011 jälkeiset mittaustulokset eivät ole suoraan vertailtavissa aiempiin mittaustuloksiin. Haasteita mittaustoiminnalle toivat sääaseman uusiminen ja tietokoneongelmat.

Typpidioksidipitoisuus indikoi liikennettä ja osittain energiantuotantoa. Liikenteen päästövaikutus on havaittavissa lähellä maan pintaa, kun taas laitosten päästöt leviävät korkeiden piippujen ansiosta korkeammalle ja laimentuvat.

Mittauspisteellä vuoden 2011 typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvoksi saatiin 15 µg/m³ ja vuositasolla toiseksi suurin vuorokausiarvo oli 61 µg/m³. Korkein typpidioksidipitoisuuden tuntiarvo oli helmikuussa 126 µg/m³. Mittausvaliditeetti oli 99,2 %.

Elokuussa Seinäjoen mittausasema osallistui kolmannen kerran kansallisen vertailulaboratorion testauksiin mittaustulosten laadun arvioimiseksi. Ennakkotietojen mukaan Seinäjoen tulokset ovat hyväksyttävällä tasolla. Lopullinen raportti on tulossa myöhemmin.

Korkeisiin pölypitoisuuksiin vaikuttaa ensisijaisesti hiekoituspölyn nouseminen liikenteen vaikutuksesta ilmaan. Myös muina aikoina kohonneet pölypitoisuudet kertovat liikenteen ja tuulen nostamasta kuivasta pölystä. Leikatun leijuman koko vuoden 2011 keskiarvo oli 14 µg/m³. Raja-arvo ylittyi vain neljänä vuorokautena. Vuonna 2010 ylityksiä oli viisi kappaletta. Mittausvaliditeetti vuonna 2011 oli 99,5 %.

Ilmanlaatuindeksi määräytyy edellä mainittujen komponenttien, typpioksidin ja hiukkasten, mittaustuloksista. Myös ilmanlaatuindeksissä näkyy selvästi kevään pölyongelma. Pääsääntöisesti (79,7 %) indeksiarvo pysyi kuitenkin edellisvuosien tapaan hyvällä tasolla. Mittausvaliditeetti oli 99,4 %.

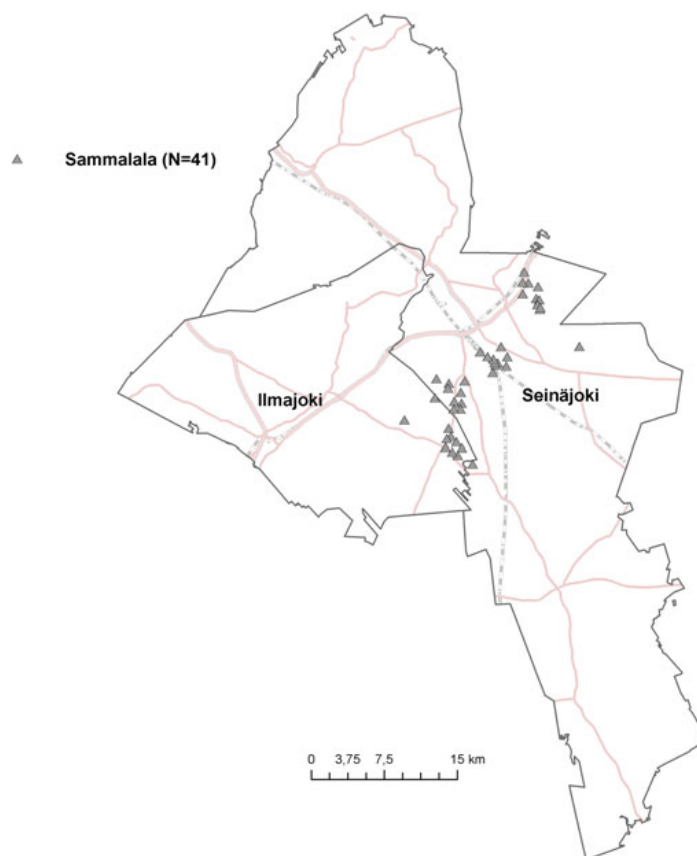
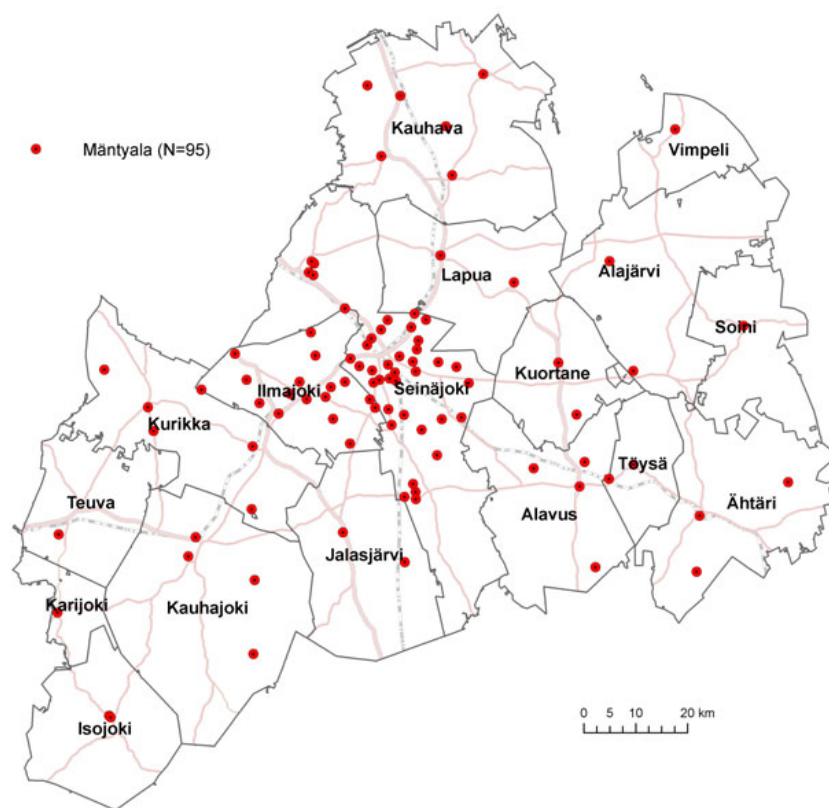
3. AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Havaintoalat

Tutkimus toteutettiin yhteensä 95 mäntyhavaintoalalla, jotka sijoituivat koko tutkimusalueelle (Taulukko 3). Seinäjoen ja Ilmajoen kuntien alueella sijaitti lisäksi 41 sammalnäytealaa sekä neljä sammalpalloalaa. Havaintoalaverkosto oli tiheimmillään kuormitetuilla Seinäjoen ja Ilmajoen kuntien alueilla (Kuva 3-1). Selvityksessä käytettiin alueella aiemmin toteutetuissa tutkimuksissa perustettua havaintoalaverkostoa. Verrattuna vuoden 2006–2007 havaintoalaverkoston (Laita ym. 2008a) jouduttiin yhteensä 18 mäntyhavaintoalaa ja viisi sammalalaa perustamaan uudelleen metsänhakkuiden ja rakentamisen seurauksena. Uusien mäntyhavaintoalojen valinnassa pyrittiin ottamaan huomioon erityisesti jäkäläkartoituksen asettamat vaatimukset, jotka rajoittivat havaintoalan valintaa erityisesti puuston tiheyden ja aluspuuston peittävyys suhteen (SFS 5670). Lisäksi valinnassa huomioitiin onko alueella toteutettu harvennushakkuita lähivuosien aikana. Uudet havaintopuut valittiin siten, että ne olivat läpimitaltaan vähintään 20 cm ja kolmen metrin korkeudelle oksattomia.

Taulukko 3. Havaintoalojen lukumäärät kunnittain.

Kunta	Alue	Mäntyala	Sammalala	Sammalpalloala
Seinäjoki		17	17	4
	Nurmo	18	15	
	Ylistaro	4		
Alajärvi		2		
Alavus		4		
Ilmajoki		18	9	
Isojoki		2		
Jalasjärvi		2		
Karjajoki		1		
Kauhajoki		4		
Kauhava		6		
Kuortane		2		
Kurikka		2		
	Jurva	3		
Lapua		2		
Soini		1		
Teuva		1		
Töysä		2		
Vimpeli		1		
Ähtäri		3		



Kuva 3-1. Tutkimuskunnat ja havaintoalojen sijainti.

Havaintoalojen sijainti määritettiin GPS-laitteella. Havaintopuiden (10 puuta/mäntyala) sijainnit selvitettiin havaintoalan etsintäohjeiden avulla. Havaintopuut oli merkitty puun tyvessä olevalla valkoisella täplällä.

Vuonna 2012 perustetuilla mäntyhavaintoaloilla määritettiin metsätyyppi, puuston kehitysluokka, valtapuulajin pohjapinta-ala sekä havaintopuiden keskimääräinen korkeus ja ikä. Valtapuulajin pohjapinta-ala määritettiin relaskoopin ja puuston korkeus hypsometrin avulla. Puiden ikä määritettiin silmämääräisesti.

Vuoden 2006–2007 selvitykseen osallistuneilla mäntyhavaintoaloilla kirjattiin ylös muutokset metsikkörakenteessa, puulajisuhteissa sekä metsikön soveltuvuudessa kartoitukseen. Valtapuulajin pohjapinta-ala määritettiin relaskoopin avulla ja puuston korkeus hypsometrin avulla. Puiden ikä määritettiin silmämääräisesti.

3.2 Havupuiden neulaskadon, eli harsuuntuneisuuden arvioiminen

Puuston harsuuntuminen, eli neulaskato, on puiden yleistä terveydentilaa kuvaava tunnus (Jukola-Sulonen 1993). Puun elinvoimaisuuden heikentyessä sen neulas- tai lehtimassa yleensä vähenee, eli latvus harsuuntuu. Latvus muuttuu neulasten varisemisen sekä oksien katkeilun ja kuoleamisen johdosta harvaksi ja valoa helposti läpäiseväksi. Harsuuntumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat ilman epäpuhtauksien lisäksi mm. puuston ikääntyminen, kasvupaikan olosuhteet, ilmasto ja säätilat, sekä sieni- ja hyönteistuhot.

Harsuuntuneiksi katsotaan puut, joiden suhteellinen neulaskato on yli 20 %. Tällöin puun oletetaan alkavan kärsiä neulasten menetyksestä. Tätä pienemmän vaihtelun katsotaan kuuluvan puun luontaisen neulasmäärän vaihtelun piiriin. Männyllä harsuuntuminen voi alkaa vanhimpien neulasvuosikertojen tasaisella varisemisella koko latvuksesta tai se saattaa kohdistua vain yksittäisiinoksiin. Harsuuntuneisuuden myötä usein puun neulasvuosikertojen määrä myös vähenee.



Kuva 3-2. Hyväkuntoinen, kohtalaisesti ja vakavasti harsuuntunut mänty (Metla 2011).

Männyn neulaskatoa, eli harsuuntuneisuutta arvioitiin mäntyhavaintoaloilla Metsäntutkimuslaitoksen arviointiohjeiden mukaisesti (Lindgren ja Salemaa 1999, Nevalainen ym. 2011). Maastotyöt toteutettiin elokuun sekä elo-syyskuun 2012 vaihteen välisenä aikana. Neulaskatoa arvioitiin kymmeneltä puulta tarkastelemalla kiikarein kunkin puun ylintä 2/3 osaa elävästä latvuksesta puun eri puolilta. Tarkasteltavan puun neulasmassaa vertailtiin samalle kasvupaikalle kuvitellun samanikäisen ja samaa latvustyyppiä edustavan harsuuntumattoman puun neulasmassaan. Harsuuntuneisuus arvioitiin prosentin tarkkuudella. Lisäksi määritettiin kunkin puun harsuuntumistyyppi sekä laskettiin neulasvuosikertojen määrä. Neulasten väri viati (kellastuminen ja ruskettuminen) arvioitiin asteikolla 1–3, jossa luokassa 1 1–5 % neulasista on värikkäisiä, luokassa 2 6–10 % neulasista on värikkäisiä ja luokassa 3 yli 10 % neulasista on värikkäisiä.

3.3 Jäkäläkartoitus

Jäkälät koostuvat symbioosissa elävistä lehtivihreättömästä sieniosakkaasta ja yhteyttävästä leväosakkaasta. Jäkälän herkkyys ilman epäpuhtauksille perustuu siihen, että niiltä puuttuu suojaavia pintasolukerroksia ja ne ottavat ravinteensa ja vetensä suoraan ilmasta, sadevedestä ja runkovalunnasta. Männyn kaarnalla esiintyvät epifyyttijäkälät kasvavat lisäksi suojaamattomina puun rungoilla ympäri vuoden, jolloin niiden sekovarsiin kertyy myös tehokkaasti ilman epäpuhtauksia.

Ilman epäpuhtaudet näkyvät usein ulkoisina ja fysiologisina muutoksina jäkälissä (Lodenius 2002). Muutokset voivat näkyä niiden morfologiassa, jolloin jäkälien sekovarren koko pienenee tai liuskaisuus ja väri muuttuvat. Lisäksi muutokset voivat ilmetä jäkälien peittävydessä sekä jäkälyhteisön lajikoostumuksessa. Jäkälälajit reagoivat ilman epäpuhtauksiin eri tavoin. Usein vaikutukset näkyvät ensin herkimmissä lajeissa, joiden peittävyys männyn rungoilla vähenee. Altistuksen jatkuessa ilman epäpuhtauksille herkimmat lajit voivat hävitä rungoilta ja kestävämmät lajit runsastua. Osa lajeista voi myös hyötyä kuormituksen lisääntymisestä ja runsastua puiden rungoilla. Kartoituksessa käytettyjen eräiden jäkälälajien kestävyys ilman epäpuhtauksille on esitetty oheisessa taulukossa (Taulukko 4).

Taulukko 4. Eräiden jäkälälajien herkkyydet rikkidioksidille Kuusinen ym. 1990 mukaan.

Herkkyyks	Lajin nimi	Laji tieteellinen nimi
kestävä, hyötyvä	seinäsuomujäkälä	<i>Hypocenomyce scalaris</i>
	leväpeite	<i>Algae + Scoliosporum</i>
melko kestävä	sormipaisukarve	<i>Hypogymnia physodes</i>
	keltatyvikarve	<i>Parmeliopsis ambigua</i>
	ruskoröyhelö	<i>Cetraria chlorophylla</i>
	keltaröyhelö	<i>Vulpicida pinastri</i>
	harmaa tyvikarve	<i>Parmeliopsis hyperopta</i>
melko herkkä	harmaaröyhelö	<i>Platismatia clauca</i>
	hankakarve	<i>Pseudevernia furfuracea</i>
	raidanisokarve	<i>Parmelia sulcata</i>
	lupot	<i>Bryoria</i> sp.
herkkä	naavat	<i>Usnea</i> sp.

Jäkälissä tapahtuvat muutokset ovat usein hyvin nähtävissä sormipaisukarpeessa (*Hypogymnia physodes*), joka on käytetyistä indikaattorilajeista kestävin ja yleisin laji (Polojärvi ym. 2005). Laji kestää hyvin ilman epäpuhtauksia ja se häviää yleensä viimeisenä kestäviksi luokitelluista jäkälälajeista. Sormipaisukarve todennäköisesti myös hyötyy ilman epäpuhtauksista tiettyyn kuormitustasoon asti (Anttonen 1990). Sormipaisukarpeen ja muiden kartoitukseen käytettävien jäkälälajien kuormitusherkyyttä ja indikaattoriarvoa on luonnehdittu lyhyesti taulukossa 5. Jäkälälajien esiintymiseen alueella vaikuttavat ilman epäpuhtausherkyyden lisäksi lajien luontaiset kasvupaikkavaatimukset.

Taulukko 5. Standardin 5670 mukaiset jäkälälajit ilmanlaadun indikaattoreina. Indikaattoriarvon luokitus: +++ hyvä, ++ kohtalainen, + pieni ja – huono. Seurallislajien lukumäärät perustuvat Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan vuoden 2000 bioindikaattoritutkimuksen aineistoon (Niskanen ym. 2001). Lajikuva-



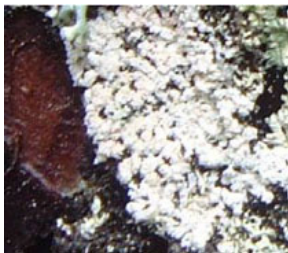
Sormipaisukarve (*Hypogymnia physodes*) +++

Sormipaisukarve on käytetyistä indikaattorilajeista kestävin ja yleisin laji, joka sietää eniten ilman epäpuhtauksia. Sormipaisukarpeen esiintymisfrekvenssit (tai peittävyys) pienentyvät vasta voimakkaasti kuormitetuilla alueilla. Sormipaisukarve on hyvä ilmanlaadun indikaattori, sillä myös sekovarren näkyvät vauriot kuvastavat ilman epäpuhtauksien kuormitusta. Seurallislajien lukumäärä 3,93.



Keltatyvikarve (*Parmeliopsis ambigua*) +++

Keltatyvikarve sietää myös hyvin ilman epäpuhtauksia ja sen esiintymisfrekvenssit noudattavat ilman epäpuhtauksien kuormitusvyöhykkeitä. Keltatyvikarve viihtyy parhaiten sulkeutuneissa kosteissa metsissä. Keltatyvikarvetta esiintyy hyvin yleisesti ja se on ilman epäpuhtauksia kestävä, hyvä indikaattorilaji. Seurallislajien lukumäärä 4,02.



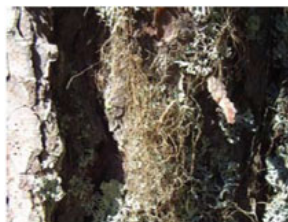
Tuhkakarve & harmaatyvikarve (*Parmeliopsis hyperopta* & *Imshaugia aleurites*)

Tuhkakarve ja harmaatyvikarve sijoittuvat kestävyydeltään kolmanneksi. Tämä sijoitus sopii yleensä hyvin näiden lajien esiintymisfrekvenssin alueelliseen jakaantumiseen, sillä kahdella edellistä lajia herkempänä näiden lajien pienentyneet esiintymisfrekvenssit ulottuvat vähemmän kuormitetuille alueille kuin sormipaisu- ja keltatyvikarpeella. Tuhka- ja harmaatyvikarve ovat ilmansaasteita sietäviä, hyviä indikaattorilajeja, jotka tosin suosivat kuivia ja valoisia kalliomänniköitä. Seurallislajien lukumäärä 4,49



Seinäsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) ++

Seinäsuomujäkälää kasvaa luontaisesti vanhojen mäntyjen rungoilla. Se pystyy myös käyttämään hyväkseen ilmassa olevia epäpuhtauksia ja sen esiintyminen lisääntyy ilman saasteiden kuormituksen lisääntyessä. Seinäsuomujäkälä on kohtalaisen hyvä ilman epäpuhtauksien positiivinen indikaattori eli sen esiintyminen kuvastaa lähinnä typpilaskeuman rehevöittävää vaikutusta. Seurallislajien lukumäärä 4,84.



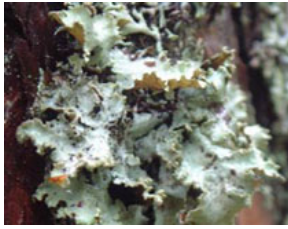
Lupot (*Bryoria* sp.) +++

Lupoilla on keskimäärin eniten seurannaislajeja rungoilla, mikä osoittaa sen herkkyyttä ilman epäpuhtauksille. Luppojen esiintymisfrekvenssit noudattavat yleensä ilmansaasteiden kuormitusta ja luppojen pituuksia voidaan myös käyttää kuormitusta kuvaavana tunnuksena. Lupot ovat hyviä ilman laadun indikaattoreita. Seurallislajien lukumäärä 5,12.



Naavat (*Usnea* sp.)

Naavojen esiintymisfrekvenssit vaihtelevat ilmansaastekuormituksen mukaan yleensä samalla tavalla kuin lupoilakin. Naavojen seurannaislajien määrä on yleensä samaa tasoa kuin lupoilakin eli osoittaa näiden jäkälälajien herkkyyttä ilman epäpuhtauksille. Naavojen pituuksia voidaan myös käyttää kuormitusta kuvaavana tunnuksena. Rannikon läheisyys suosii naavojen esiintymistä, minkä vuoksi sen indikaattoriarvo jää kohtalaiseksi. Seurallislajien lukumäärä 5,12.



Harmaaröyhelö (*Platismatia glauca*) ++

Harmaaröyhelö on seurannaislajien määrän perusteella suhteellisen herkkä indikaattorilaji ja myös sen esiintymisfrekvenssit ovat yleensä loogisia: laji puuttuu kuormitetuilta alueilta ja eniten sitä todetaan puhtailla alueilla. Harmaaröyhelö on herkkä ilman epäpuhtauksille, mutta sen luontainen esiintyminen voi kuitenkin vaihdella suuresti, minkä vuoksi sen indikaattoriarvo jää kohtalaiseksi. Seurallislajien lukumäärä 4,51.



Keltaröyhelö (*Vulpicida pinastri*) +

Keltaröyhelön esiintyminen on usein varsin satunnaista, sitä voidaan löytää voimakkaasti kuormitetuilta alueita ja toisaalta se saattaa puuttua tausta-alueilla. Keltaröyhelön luontainen esiintyminen vaihtelee suuresti, mutta mahdollisesti myös ilman epäpuhtauksilla on vaikutusta sen esiintymiseen. Keltaröyhelön arvo ilman laadun indikaattorina jää kuitenkin pieneksi. Seurallislajien lukumäärä 4,39.



Ruskoröyhelö (*Cetraria chlorophylla*) -

Ruskoröyhelö on yleensä 12 indikaattorilajin joukossa yksi harvinaisimmista lajeista. Sen esiintyminen vaihtelee usein hyvin satunnaisesti ja sitä voidaan löytää voimakkaasti kuormitetuiltakin alueilta. Ilman laadun indikaattorina ruskoröyhelö on huono. Seurallislajien lukumäärä 5,10.



Hankakarve (*Pseudevernia furfuracea*) ++

Hankakarve on hyvin yleinen jäkälälaji männyn rungolla. Keskimääräisen seurannaislajien määrän perusteella hankakarve voidaan katsoa olevan herkkä ilman epäpuhtauksille, myös sen esiintymisfrekvenssien alueellinen jakauma vastaa yleensä ilman epäpuhtauksien kuormituksen jakaantumista. Ilmansaasteet aiheuttavat selvästi havaittavia muutoksia hankakarpeen sekovarressa. Rannikon läheisyys suosii hankakarpeen esiintymistä, sillä se viihtyy valoisissa, kuivissa kalliomänniköissä, indikaattorina kohtalainen. Seurallislajien lukumäärä 4,41.



Raidanisokarve (*Parmelia sulcata*) +

Raidanisokarve on harvinainen jäkälälaji männyn rungolla. Raidanisokarve on ravinneisuudesta hyötyvä jäkälälaji, jota esiintyy yleensä mm. kalkkipölyalueiden liepeillä. Raidanisokarve soveltuu kalkkipölyn indikaattoriksi. Yleensä raidanisokarve on niin harvinainen, että sen indikaattoriarvo jää pieneksi. Seurallislajien lukumäärä 4,27.



Viherlevä ja vihersukkulajäkälä (*Algae & Scoliciosporum*) +++

Viherleväpeite lisääntyy lähinnä kasvaneen typpilaskeuman vaikutuksesta eli se on ilman epäpuhtauksien positiivinen indikaattori. Viherleväpeite ja vihersukkulajäkälä ovat hyviä typpikuormituksen indikaattoreita. Seurallislajien lukumäärä 3,98.

Kullakin mäntyhavaintoalalla toteutettiin männyn rungoilla esiintyvien 12 jäkälälajin kartoitus standardin 5670 mukaisesti elokuussa ja elo-syyskuun 2012 vaihteessa. Kartoitus toteutettiin kymmeneltä puulta 50–200 cm korkeudelta lieriönmuotoiselta alalta. Standardista poiketen kunkin lajin runsaus arvioitiin kolmiasteisella luokituksella (Taulukko 6). Sormipaisukarpeen runsaus arvioitiin sekä sekovarsien lukumääränä että peittävytenä.

Taulukko 6. Jäkäläien runsauden luokittelu. Leväpeite ja seinäsuomujäkälä on luokiteltu peittävytenä (%), muut lajit sekovarsien lukumäärän perusteella. Sormipaisukarpeen osalta arvioitiin sekä peittävyys (%) että sekovarsien lukumäärä.

Luokka	Sekovarsien lukumäärä, kpl	Peittävyys, %
1	1–2	<5
2	2–7	5–49
3	>7	≥50

Sormipaisukarpeen ja luppojen esiintymisfrekvenssit laskettiin sabluunaruudukolta puun itä-koillisesta ja länsi-lounaasta. Sormipaisukarpeen ja jäkäläien yleinen vaurioaste arvioitiin viisiporraisella luokituksella puolen vaurioluokan tarkkuudella (Taulukko 7 ja Taulukko 8). Lisäksi kullekin havaintoalalle laskettiin ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien lukumäärä, eli standardissa SFS 5670 huomioitavien lajien lukumäärä ilman seinäsuomujäkälää ja levää (Taulukko 9).

Taulukko 7. Sormipaisukarpeen vaurioluokitus (SFS 5670).

Vaurio	Näkyvät muutokset
I normaali	jäkälät terveitä tai lähes terveitä
II lievä vaurio	lievästi kitukasvuisia, lieviä värimuutoksia
III selvä vaurio	jäkälät kitukasvuisia, vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin
IV paha vaurio	jäkälät pieniä, ryppyisiä, vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin
V kuollut tai puuttuu	



I = terve II = lievä vaurio III = selvä vaurio IV = paha vaurio V = kuollut tai puuttuu

Kuva 3-3. Sormipaisukarpeen vaurioluokitus.

Taulukko 8. Yleinen vaurioluokitus (SFS 5670).

Yleinen vaurioluokitus	Näkyvät muutokset
I normaali	kaikkien lajien ulkonäkö ja kasvu muuttumattomia
II lievä vaurio	pensasmaiset kitukasvuisia, lehtimäiset vaurioituneita
III selvä vaurio	pensasmaiset pieniä, lehtimäiset vaurioituneita
IV paha vaurio	pensasmaiset puuttuvat, lehtimäiset pahoin vaurioituneita
V kuolleet tai puuttuvat	myös lehtimäiset puuttuvat, leväpeitettä voi esiintyä

Taulukko 9. Jäkälälajiston luokitus lajilukumäärän perusteella.

Lajilukumäärä	Lajiston kuvaus
0–1	Erittäin selvästi köyhtynyt
2–3	Selvästi köyhtynyt
4–5	Köyhtynyt
6–7	Lievästi köyhtynyt
≥8	Normaali jäkälälajisto

Kullekin havaintoalalle laskettiin paikan jäkäläkasvillisuutta kuvaava IAP-indeksi (*Index of Air Purity*). IAP-indeksi yhdistää eri jäkälälajien esiintymisfrekvenssit yhteen lukuarvoon ottamalla huomioon myös eri lajien herkkyudet (Polojärvi 2005). IAP-indeksi kuvaa jäkäläkasvillisuuden tilaa, eli mitä suurempi indeksiluku on, sitä runsaampi on jäkälälajisto ja sitä enemmän esiintyy ilman saasteille herkkiä lajeja.

Indeksi laskettiin kullekin havaintoalalla seuraavasti:

$$IAP = \sum_{1}^n (Q \times f) / 10$$

Q = Kunkin jäkälälajin keskimääräinen seuralaislajien lukumäärä rungolla

f = Lajin suhteellinen esiintymisfrekvenssi näytealalla (0–1)

n = Jäkälälajien lukumäärä (*n*=10)

Indeksiä laskettaessa käytettiin kymmentä standardin SFS 5670 mukaista jäkälälajia. Laskennassa ei huomioitu viherleviä ja seinäsuomujäkälää, jotka ovat ilman epäpuhtauksista hyötyviä lajeja. IAP-indeksin laskentatavasta ei ole yhdenmukaista käytäntöä, mistä johtuen indeksille ei ole esitetty yleisesti käytettävää luokitusta. Tässä selvityksessä indeksin arvo luokiteltiin oheisen taulukon (Taulukko 10) mukaisesti.

Taulukko 10. Jäkälälajiston luokitus IAP-indeksin perusteella.

IAP-indeksi	Kuvaus jäkäläkasvillisuudesta
> 3	jäkälälajisto vastaa tausta-alueiden lajistoa, mukana yleisesti herkimpiä lajeja
2–3	lajistossa on lieviä muutoksia, herkimpiä lajeja puuttuu yleisesti
1–2	lajisto on köyhtynyt, herkimpiä lajeja voi esiintyä yksittäisillä rungoilla
	lajisto on erittäin selvästi köyhtynyt, herkimmat lajit puuttuvat yleisesti, rungoilla esiintyy
0,5–1	ilmansaasteista hyötyviä lajeja
< 0,5	jäkäläautio tai lähes jäkäläautio

Tässä selvityksessä käytetyt seuralaislajien (kunkin lajin kanssa rungolla kasvavat muut standardin mukaiset jäkälälajit) lukumäärät ovat vastaavat kuin Seinäjoen seudulla vuonna 2006–2007 toteutetussa selvityksessä (Laita ym. 2008a) ja ne perustuvat Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan vuoden 2000 bioindikaattoritutkimuksen aineistoon (Niskanen ym. 2001). Seinäsuomujäkälän, levän sekä vihersukkulajäkälän esiintyminen on huomioitu seuralaislajien lukumäärissä.

3.4 Neulasten alkuainepitoisuudet

Männyn neulasnäytteiden alkuainepitoisuudet kuvaavat osin ilman kautta tulevaa kuormitusta. Alkuaineita kertyy neulasiin myös maaperästä juuriston kautta, joten kasvupaikka ja pitoisuudet maaperässä vaikuttavat myös neulasiin kertyviin pitoisuuksiin. Lisäksi lukuiset eri tekijät, kuten neulasten ikä, neulasten asema latvuksessa ja vuodenaikaisvaihtelut, aiheuttavat luontaista vaihtelua neulasten kemiallisessa koostumuksessa (Nieminen ym. 1993).

Alkuaineista erityisesti rikki ja typpi kuvaavat ilman epäpuhtauksien aiheuttamaa kuormitusta (Jussila 1999). Havupuiden neulasten normaalina kokonaisrikkipitoisuutena pidetään 900 mg/kg ja normaalina typpipitoisuutena 11 g/kg. Neulasten alkuainepitoisuuksille ei ole annettu yksiselitteisiä ohjearvoja, vaan arvot vaihtelevat eri lähteissä. Jukan (1988) luokittelemat männyn neulasten ravinnepitoisuuksien ohjearvot on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Männyn neulasten ravinnepitoisuuksien ohjearvoja kuivahkoilla ja kuivilla kankailla. Jukka 1988.

Ravinnetila	typpi g / kg	fosfori g / kg	kalium g / kg	boori mg / kg
alhainen	< 11,0	< 1,2	< 3,5	< 5,0
välttävä	11,0–13,9	1,2–1,44	3,5–3,9	5,0–7,9
sopiva	≥ 14,0	≥ 1,45	≥ 4,0	≥ 8,0

Neulasnäytteenotto toteutettiin standardin SFS 5669 mukaisesti maaliskuussa 2012 kullakin mäntyhavaintoalalla. Kustakin tutkimuspuusta katkaistiin oksaksilla 3–4 oksaa eri puolilta latvustoa. Näytteet yhdistettiin havaintoaloittain kokoomanäytteiksi muovipusseihin ja säilytettiin viileässä näytteiden esikäsittelyyn asti. Näytteistä erotettiin laboratorioissa toiseksi viimeiset vuosikerrat (vuoden 2010 vuosikerta), jotka kuivatuttiin vakiopainoon (40 °C). Kuivatut näytteet homogenisoitiin ja hajotettiin mikroaaltomerkäpolttolaitteistolla väkevässä typpihapossa. Alkuainepitoisuudet määritettiin ICP-MS -tekniikalla perustuen SFS-EN ISO 17294-2 standardiin ja typpipitoisuus määritettiin Variomax CHN-analysaattorilla soveltaen standardia SFS-EN 15104. Näytteistä määritettiin typen (N), fosforin (P), kaliumin (K), kalsiumin (Ca), magnesiumin (Mg), rikin (S), boorin (B), mangaanin (Mn), raudan (Fe), kuparin (Cu), sinkin (Zn), kromin (Cr), nikkelin (Ni) ja kadmiumin (Cd) pitoisuudet.



Kuva 3-4. Mäntyhavaintoala Seinäjoella ja Alahärmässä.

3.5 Sammalnäytteiden alkuainepitoisuudet

Metsän yleisimpiä sammalia, kuten metsäkerrossammalta (*Hylocomium splendens*) ja tässä työssä analysoitua seinäsammalta (*Pleurozium schreberi*) on käytetty bioindikaattoriselvityksissä jo useiden vuosikymmenten ajan. Sammalten yleinen käyttö kasvimateriaalin alkuainepitoisuuksia kartoittavissa tutkimuksissa perustuu osaltaan siihen, että sammalet ottavat tarvitsemansa veden ja ravinteet pääosin suoraan sadevedestä suoraan pintasolukkonsa läpi. Juuriston ja suojaavan kutikulan puuttumisen johdosta ilman epäpuhtaudet kulkeutuvat sammaleeseen putkilokasveja tehokkaammin.

Suomessa esiintyvät sammalten alkuainepitoisuudet ovat peräisin kaukokulkeutumasta ja toisaalta lähempänä sijaitsevista pistemäisistä lähteistä. Useimpien raskasmetallien pitoisuudet sammalissa ovat laskeneet Suomessa vuosien 1985–2010 välillä (Metsäntutkimuslaitos 2012). Voimakainta on ollut lyijypitoisuuksien lasku, mikä johtuu lyijyttömään bensiiniin siirtymisestä 1990-luvun alussa. Lyijyn ohella lisäksi erityisesti kadmium- ja vanadiinipitoisuudet ovat laskeneet valtakunnallisella tasolla. Tekniikan kehittyminen ja päästörajojen tiukentaminen ovat vaikuttaneet siihen, että mm. kupari-, kromi-, sinkki- ja rautapitoisuudet ovat vähentyneet suurimpien piste-
mäisten päästölähteiden läheisyydessä.

Sammalnäytteet kerättiin standardin SFS 5671 mukaisesti Seinäjoen ja Ilmajoen alueilla sijainneilta sammalaloilta syyskuun 2012 alussa. Kullakin havaintoalalla kerättiin seinäsammalta (*Pleurozium schreberi*) mahdollisimman puhtailta kasvustoilta viidestä eri kohtaa. Osanäytteet puhdistettiin roskista ja yhdistettiin yhdeksi havaintoalakohtaiseksi kokoomanäytteeksi. Sammalnäytteistä erotettiin laboratoriossa vihreä osuus, mikä vastaa noin kahden-kolmen vuoden kasvua.

Sammalnäytteet kuivattiin vakiopainoon (40 °C). Kuivatut näytteet homogenisoitiin ja hajotettiin mikroaaltomärkäpolttolaitteistolla väkevässä typpihapossa. Alkuainepitoisuudet määritettiin ICP-MS -tekniikalla perustuen SFS-EN ISO 17294-2 standardiin ja typpipitoisuus määritettiin Variomax CHN-analysaattorilla soveltaen standardia SFS-EN 15104. Näytteistä määritettiin alumiinin (Al), arseenin (As), boorin (B), kalsiumin (Ca), kadmiumin (Cd), koboltin (Co), kromin (Cr), kuparin (Cu), raudan (Fe), kaliumin (K), magnesiumin (Mg), mangaanin (Mn), natriumin (Na), nikkelin (Ni), fosforin (P), lyijyn (Pb), rikin (S), sinkin (Zn), vanadiinin (V) ja elohopean (Hg) pitoisuudet.

3.6 Sammalpallojen alkuainepitoisuudet

Sammalpallot valmistettiin standardin SFS 5794 mukaisesti. Materiaalina käytettiin eteläisestä Suomesta kerättyä korpilahkasammalta (*Sphagnum girgensohnii*). Sammal puhdistettiin, pestiin laimealla suolahappoliuoksella, huuhdeltiin ionivaihdetulla vedellä, valutettiin ja punnittiin noin 15 gramman eriin (tuorepaino) hiusverkkoihin. Pallot numeroitiin ja säilytettiin ripustukseen asti pakkasessa.

Sammalpallot ripustettiin Seinäjoella sijaitseville neljälle havaintoalalle 17.2.2012 ja noudettiin 25.4.2012. Kullekin havaintoalalle ripustettiin yhteensä kolme sammalpalloa pääasiassa lehtipuiden oksien kärkiin. Laboratoriossa sammalpalloista poistettiin verkot ja saman havaintoalueen pallot yhdistettiin yhdeksi kokoomanäytteeksi. Näytteet kuivattiin 40 °C ja analysoitiin kuten seinäsammalnäytteet. Näytteistä määritettiin alumiinin (Al), arseenin (As), boorin (B), kalsiumin (Ca), kadmiumin (Cd), koboltin (Co), kromin (Cr), kuparin (Cu), raudan (Fe), kaliumin (K), magnesiumin (Mg), mangaanin (Mn), natriumin (Na), nikkelin (Ni), fosforin (P), lyijyn (Pb), rikin (S), sinkin (Zn), vanadiinin (V) ja elohopean (Hg) pitoisuudet. Pitoisuuksista vähennettiin ns. nollapallon pitoisuudet ja laskettiin kertymä 30 vuorokautta kohti.

3.7 Aineiston käsittely ja tulosten esittäminen

Tulokset käsiteltiin taulukkomuodossa ja koottiin kuvaajiin ja taulukoihin. Paikkatieto-ohjelmanä selvityksessä käytettiin ja teemakartat toteutettiin ArcMap-ohjelmalla. Vyöhykekartat laadittiin Surfer-ohjelmalla, jossa interpolointi toteutettiin Kriging-menetelmällä. Aineiston tilastollisessa käsittelyssä käytettiin Systat-ohjelmaa. Kartta-aineistona käytettiin Maanmittauslaitoksen avoimen aineiston tiedostopalvelua (4/2012–11/2012).

4. TULOKSET

4.1 Havaintoalojen tiedot ja mäntyjen elinvoimaisuus

Valtaosa (64 %) havaintoaloista sijaitsi varttuneissa kuivahkon kankaan (CT) mäntymetsissä. Noin viidesosa havaintoaloista sijoittui mustikkatyyppin (MT) metsiin. Luokkaan 'Muu' kuuluvat metsät olivat joko taajamien puistometsiä tai turvemaita. Kaikilla havaintoaloilla pääpuulajina kasvoi mäntyä. Männyn sekapuuna tai alikasvoksena kasvoi usein kuusta tai koivua.

Puuston keskimääräinen ikä havaintoaloilla oli 94 vuotta ja valtaosa aloista sijoittui ikäluokkaan 80–99 vuotta. Valtapuiden keskimääräinen pituus oli 16,9 m ja läpimitta 26,9 cm. Puuston keskimääräinen pohjapinta-ala oli 18 m³.

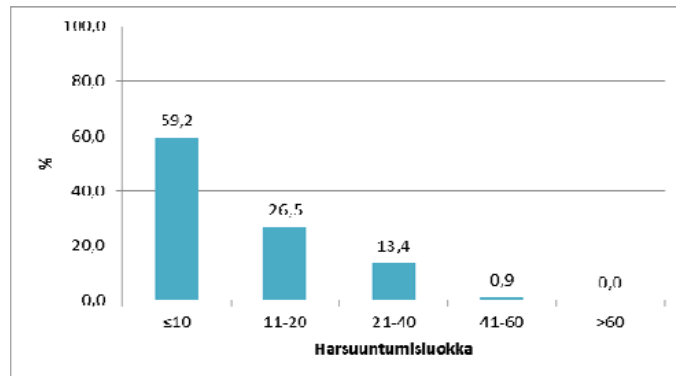
Taulukko 12. Mäntyhavaintoaloja (n=95) kuvaavia tunnuksia.

Tunnus	Luokka	kpl	%
Metsätyyppi	CT	7	7,4
	VT	64	67,3
	MT	20	21,1
	Muu	4	4,2
Kehitysluokka	varttunut	60	63,2
	kypsä	35	36,8
Havaintopuiden keskimääräinen ikä	alle 60	0	0,0
	60–79	3	3,2
	80–99	62	65,3
	100–119	25	26,3
	120 tai yli	5	5,3
Valtapuiden pituus (m)	alle 10	0	0,0
	10–14	19	20,0
	15–19	57	60,0
	20 tai yli	19	20,0
Havaintopuiden keskimääräinen halkaisija (cm)	alle 25	29	30,5
	25–29	45	47,4
	30–34	16	16,8
	35 tai yli	5	5,3
Puuston pohjapinta-ala (m³)	alle 10	6	6,3
	10–14	23	24,2
	15–19	32	33,7
	20–24	21	22,1
	25–29	10	10,5
	30 tai yli	3	3,2
1. valtalaji	mänty	95	100
2. valtalaji	kuusi	46	48,4
	koivu	21	22,1

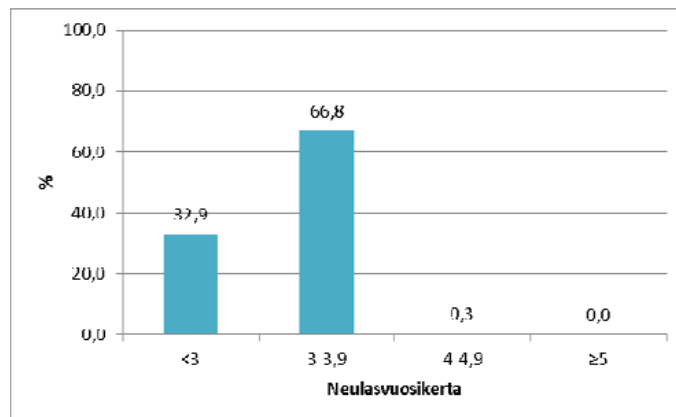
Mäntyjen keskimääräinen harsuuntumisaste oli 13,1 %. Yli puolella (59,2 %) männystä neulas-kadon määrä oli vähäistä, alle 10 %. Runsaalla 14 prosentilla männystä neulas-kadon määrä ylitti 20 %. Havaintoalakohtaisissa keskimääräisissä tuloksissa 20 %:n raja ylittyi neljällä alalla, jotka kaikki sijaitsivat Seinäjoella. Neulasvuosikertoja puissa oli keskimäärin 3. Värivikaisuutta neula-sissa oli keskimäärin vain vähän, noin 81 % männystä sijoittui luokkaan 1, jossa värivikaisuutta oli 1–5 % neulasista. Yli 10 % männystä sijoittui luokkaan 3, jossa yli 10 % neulasista oli väri-vikaisia.

Taulukko 13. Mäntykohtainen harsuuntuminen ja neulasvuosikertojen määrä tutkimusalueella. Tutkimuspuiden kokonaismäärä 939 mäntyä. Mäntyjen pituus ja läpimitta on laskettu havaintoalakohtaisista tuloksista (n=95).

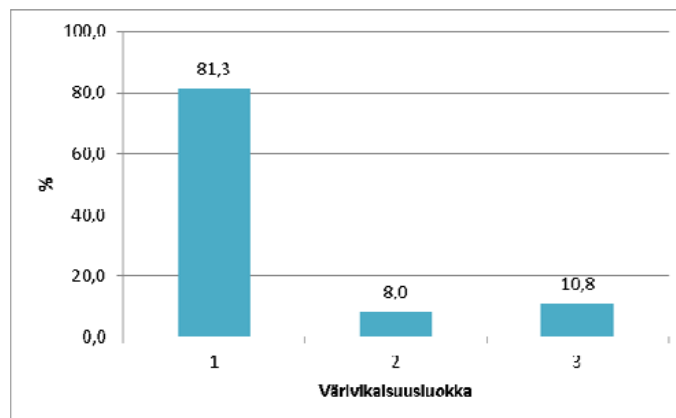
n=939	keskiarvo	pienin	suurin	keskihajonta
Harsuuntuneisuus %	13,1	5,0	60	9,0
Neulasvuosikerta	3,0	1,3	4	0,3
Värvikaisuus %	4,0	0,0	60	8,3
Pituus (m)	16,9	10,0	25	3,2
Läpimitta (cm)	26,9	15,0	42,5	4,4



Kuva 4-1. Tutkimusmäntyjen jakaantuminen eri harsuuntumislukkiin. N=939.



Kuva 4-2. Tutkimusmäntyjen jakaantuminen eri neulasvuosikertaluokkiin. N=939.



Kuva 4-3. Tutkimusmäntyjen jakaantuminen värvikaisuusluokkiin (luokka 1; 1–5 % neulasista värvikaisia, luokka 2; 6–10 % neulasista värvikaisia ja luokka 3; yli 10 % neulasista värvikaisia). N=939.

4.2 Männyn runkojäkäliät

Kaikilta mäntyhavaintoaloilta laskettu ilmanpuhtausindeksi oli 1,4 (Taulukko 14), mikä kertoo lajiston olevan keskimäärin köyhtynyttä tutkimusalueella käytetyn luokituksen mukaisesti (Taulukko 14). Tällöin herkempiä lajeja voi esiintyä yksittäisillä rungoilla. Keskimääräinen ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien havaintoaluekohtainen lukumäärä oli 4,4, mikä vastaa myös IAP-indeksin avulla saatua tulosta köyhtyneestä lajistosta. Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys tutkimusalueella oli 10,8, vastaavasti levän yleisyys oli vain 0,5. Sormipaisukarpeen vaurioaste oli 2,6, mikä oli hieman enemmän kuin jäkälälajistolla yleensä (1,9). Sormipaisukarve oli tutkimusalueella keskimäärin lievästi-selvästi vaurioitunutta, kun taas jäkälälajisto yleisesti lievästi vaurioitunutta.

Taulukko 14. Männyn runkojäkälien ilmanpuhtausindeksi ja muita tunnuslukuja. Lajimäärän laskennassa ei ole huomioitu levää ja seinäsuomujäkälää.

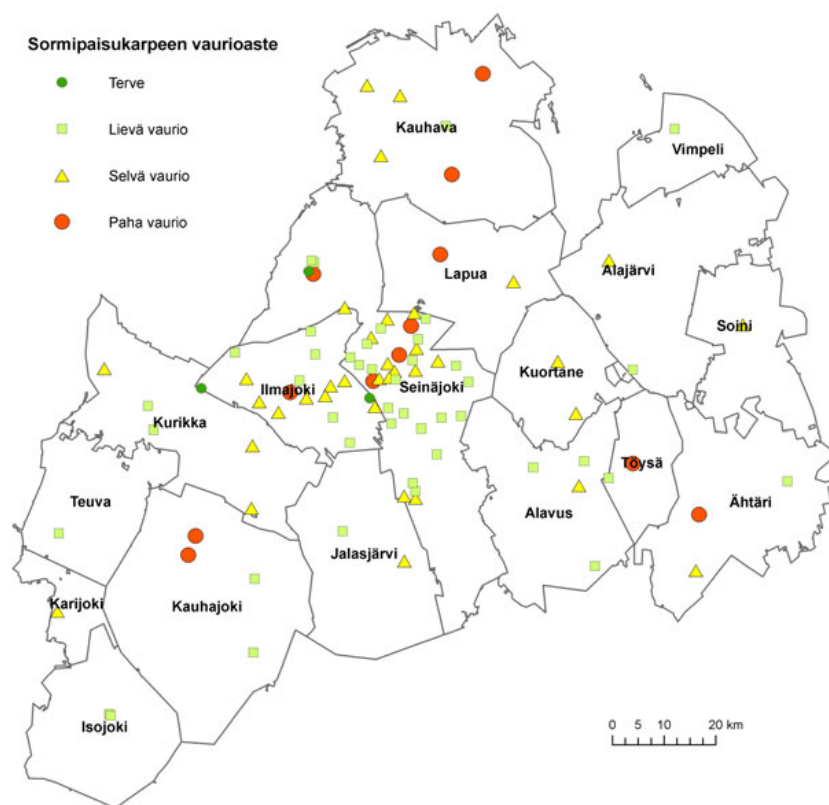
N=95	keskiarvo	pienin	suurin	keskihajonta
Ilmanpuhtausindeksi	1,4	0,5	2,7	0,5
Lajimäärä / havaintoala	4,4	2,0	7	1,4
Yleinen vaurioaste	1,9	1,0	3,2	0,5
Sormipaisukarpeen vaurioaste	2,6	1,4	4,4	0,7
Sormipaisukarpeen peittävyys %	10,8	0,8	44	8,2
Levän yleisyys	0,5	0	24	1,1

4.3 Sormipaisukarpeen ja jäkälälajiston yleiset vaurioasteet

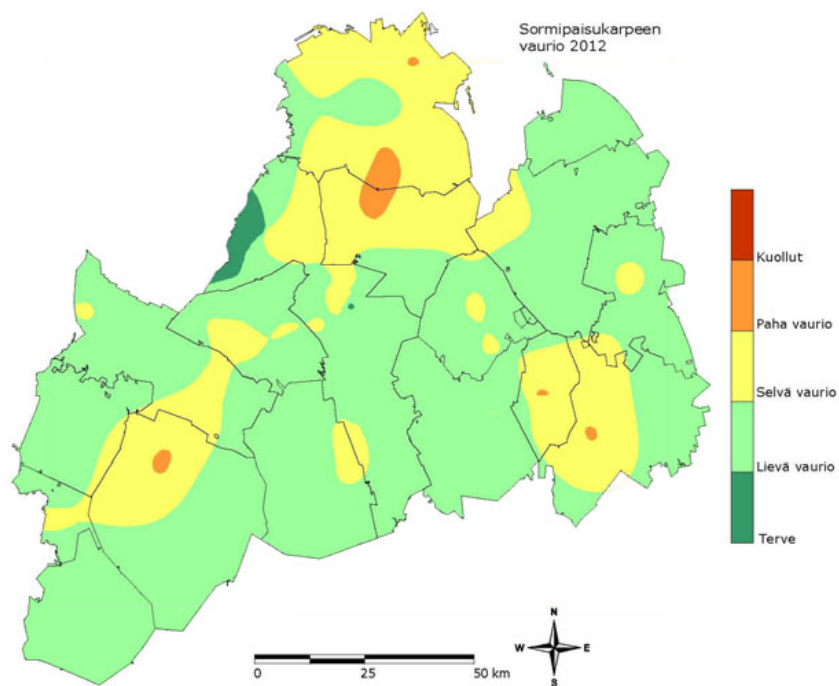
Sormipaisukarpeen vaurioluokituksessa valtaosa havaintoaloista (80 havaintoalaa) sijoittui luokkiin II ja III, jolloin jäkälälistössä oli nähtävissä lieviä ja selviä vaurioita. Noin 15 % havaintoaloista sijoittui luokkaan IV, jossa sormipaisukarvekasvustoissa oli nähtävissä pahoja vaurioita. Nämä alat sijaitsivat Seinäjoella, Ilmajoella, tutkimusalueen pohjoiskunnissa, sekä Kauhajoella, Töysässä ja Ähtärissä. Ainoastaan kolmella Seinäjoella, Ilmajoella ja Ylistaroon sijoittuvalla havaintoalalla kasvustot voitiin luokitella terveiksi.

Taulukko 15. Havaintoalojen lukumäärä ja osuus sormipaisukarpeen vaurioluokituksessa. N=95.

Vaurio	Havaintoalojen lukumäärä	Havaintoaloja %
I normaali	3	3,2
II lievä vaurio	44	46,3
III selvä vaurio	36	37,9
IV paha vaurio	12	12,6
V kuollut tai puuttuu	0	0



Kuva 4-4. Sormipaisukarpeen vaurioaste tutkimusalueella vuonna 2012.

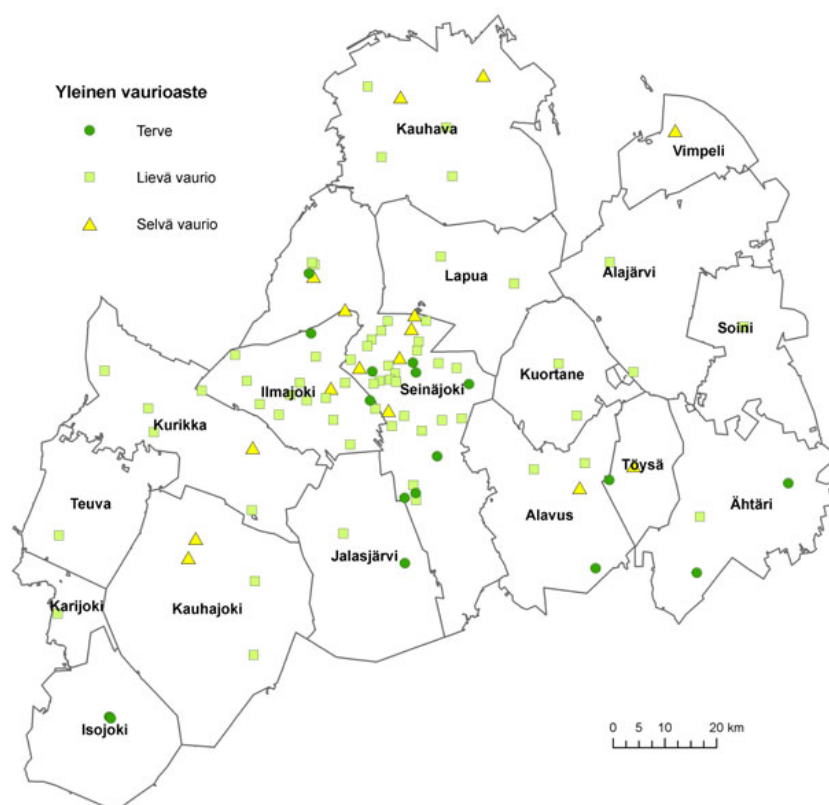


Kuva 4-5. Sormipaisukarpeen vaurioasteen vyöhykkeet tutkimusalueella vuonna 2012.

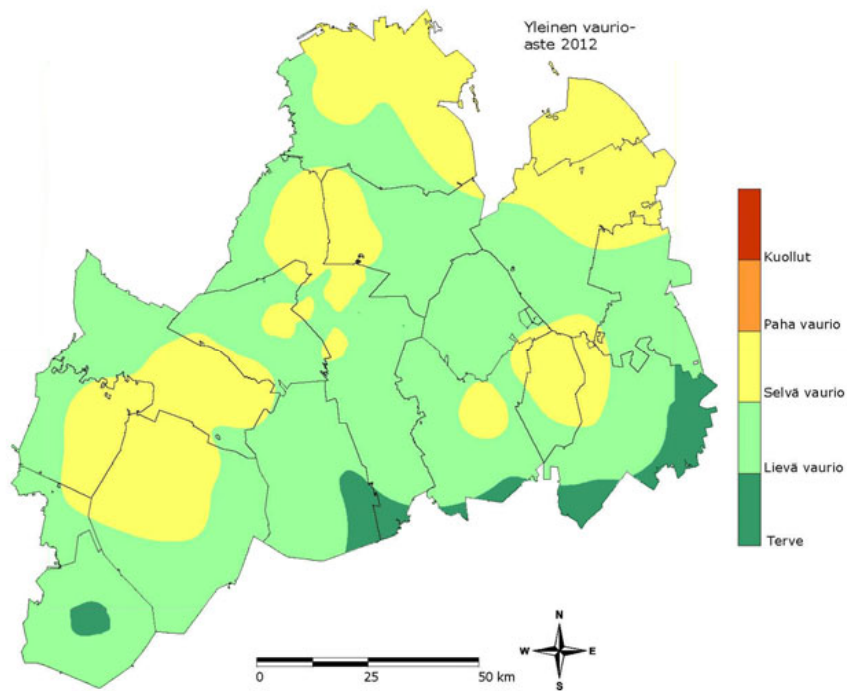
Yleinen runkojäkälien vaurioaste oli keskimäärin alhaisempi kuin sormipaisukarpeen vaurioaste. Valtaosa (65,3 %) havaintoaloista sijoittui luokkaan II, jossa jäkälien vauriot olivat lieviä. Selviä vaurioita havaittiin 16,8 %:lla havaintoaloista, jotka sijoittuivat tutkimusalueen pohjoisosiin sekä eteläiseen keskiosaan. Lähes viidenneksellä (17,9 %) tutkimusaluetta sijoittuvalla alalla jäkälistö luokiteltiin terveeksi.

Taulukko 16. Havaintoalojen lukumäärä ja osuus yleisessä vaurioluokituksessa. N=95.

Vaurio	Havaintoalojen lukumäärä	Havaintoaloja %
I normaali vaurio	17	17,9
II lievä vaurio	62	65,3
III selvä vaurio	16	16,8
V paha vaurio	0	0
IV kuollut tai puuttuu	0	0



Kuva 4-6. Yleinen vaurioaste tutkimusalueella vuonna 2012.

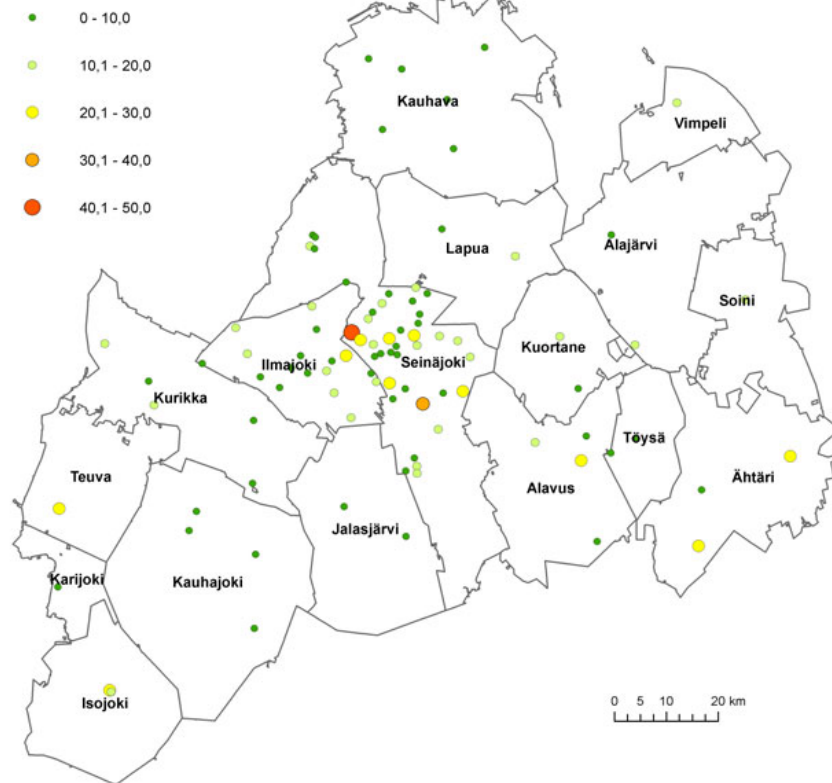


Kuva 4-7. Yleisen vaurioasteen vyöhykkeet tutkimusalueella vuonna 2012.

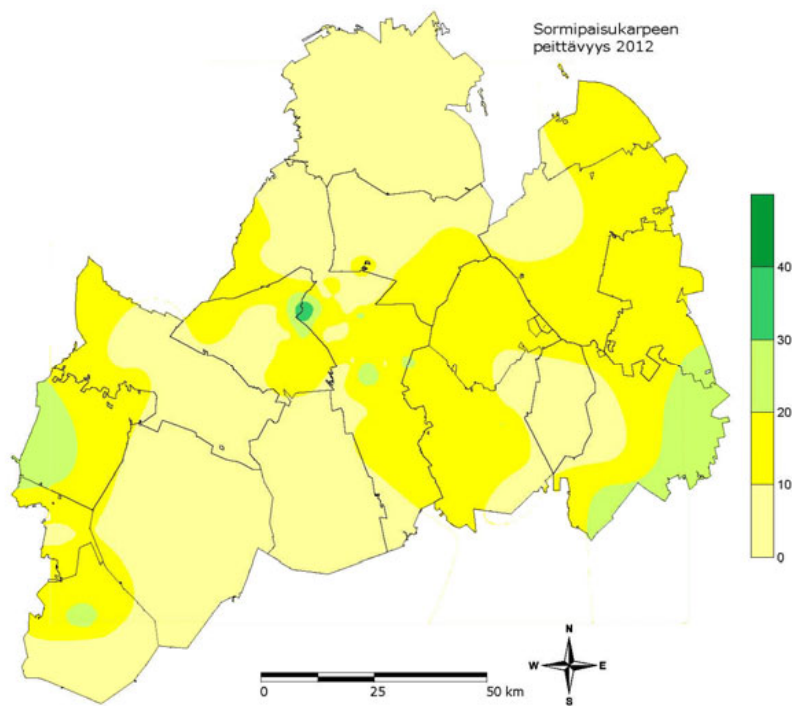
4.4 Sormipaisukarpeen peittävyys ja levän yleisyys

Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys männyn rungoilla oli 10,8 %. Hieman yli puolella havaintoaloista peittävyys oli alle 10 %. Nämä havaintoalat sijoituivat tasaisesti tutkimusalueen pohjoisosiin ja läntisiin keskiosiin. Kolmanneksella havaintoaloista peittävyys oli 10–20 % ja runsaalla kymmenellä alalla 21–30 %:n luokkaa. Kahdella Seinäjoen pohjoisosiin sijoittuvalla alalla peittävyys kipusi jopa yli 30 ja 40 prosenttiin. Tiheimmän havaintoverkon alueilla peittävyys vaihteli voimakkaasti alakohtaisesti.

Sormipaisukarpeen peittävyys (%)



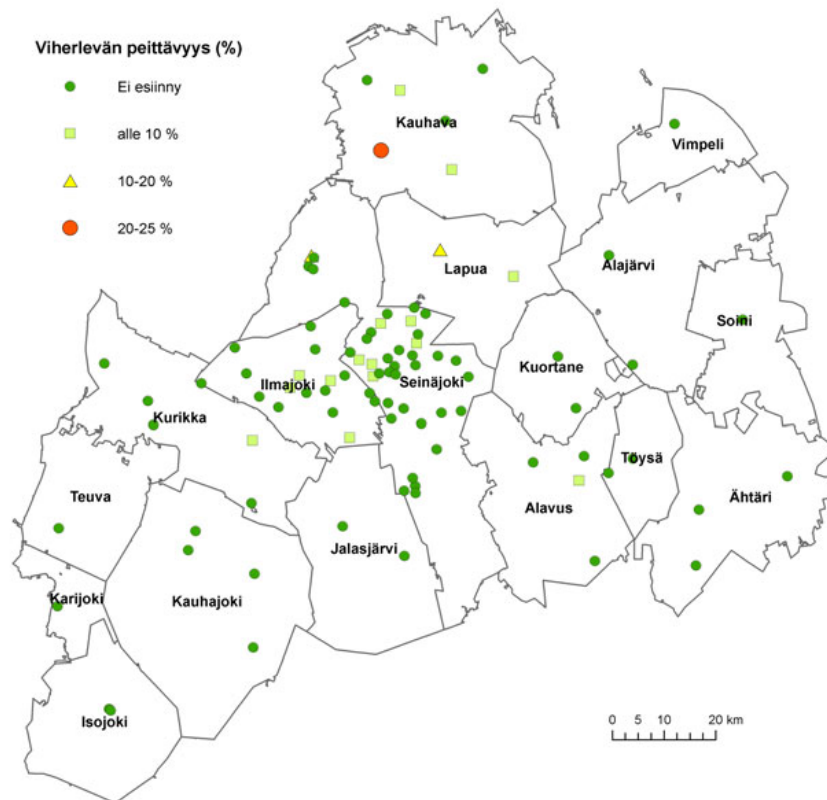
Kuva 4-8. Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys männyn rungoilla vuonna 2012.



Kuva 4-9. Sormipaisukarpeen keskimääräisen peittävyuden vyöhykkeet männyn rungoilla vuonna 2012.

Pistefrekvenssimenetelmällä puun rungon itä-koillis- sekä länsi-lounaispuolelta mitattuna sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys oli 9,4 %. Yli puolella (60 %) havaintoaloista sormipaisukarpeen peittävyys oli alle 10 %. Noin kolmanneksella (32,6 %) havaintoaloista peittävyys oli 11–20 %. Kuudella alalla peittävyys oli 21–30 % ja yhdellä alalla yli 30 %.

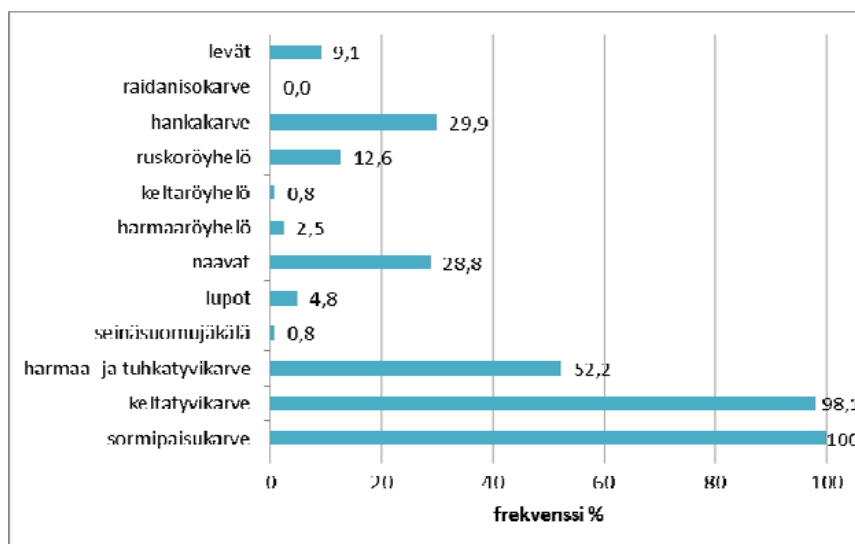
Viherleväkasvustot puuttuivat 81 %:lla havaintoalueista ja lähes viidenneksellä havaintoaloista peittävyys oli alle 10 %. Kahdella Ylistarossa ja Lapualla sijaitsevalla alalla peittävyys oli 10–20 %. Suurin peittävyys (24 %) havaittiin Kauhavalla sijaitsevalla havaintoalueella.



Kuva 4-10. Viherlevän keskimääräinen peittävyys männyn rungoilla vuonna 2012.

4.5 Lajimäärät

Standardin SFS 5670 mukaisista lajeista Seinäjoen seudulla esiintyi runsaimmin sormipaisukarvetta (esiintyi kaikilla 475 rungolla) sekä keltatyvikarvetta (esiintyi 466 rungolla). Noin puolella rungoista esiintyi harmaa- ja tuhkatyvikarvetta (248 rungolla). Naavoja ja hankakarvetta esiintyi runsaalla neljänneksellä tutkituista rungoista (esiintyi 137 ja 142 rungolla). Ruskoröyhelöä esiintyi 60 rungolla ja leviä 43 rungolla. Luppoja esiintyi 23 rungolla, harmaaröyhelöä 12 rungolla ja keltaröyhelöä sekä seinäsuomujäkälää neljällä rungolla. Raidanisokarvetta ei havaittu tutkituilla mäntyaloilla lainkaan.

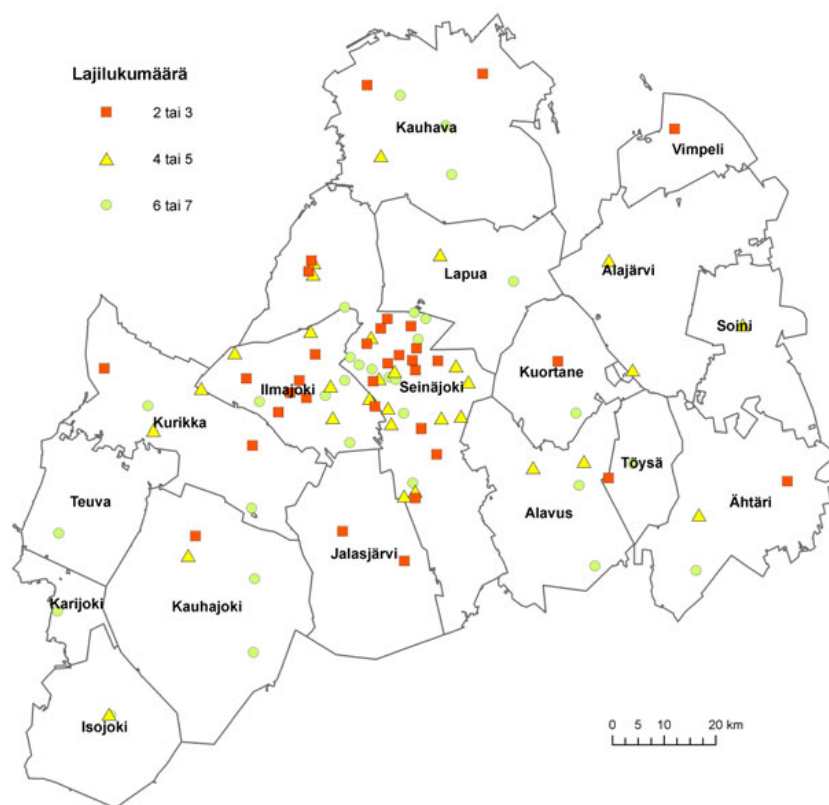


Kuva 4-11. Männyn runkojäkälälien esiintymistiheys tutkimusalueella 2012, n=475

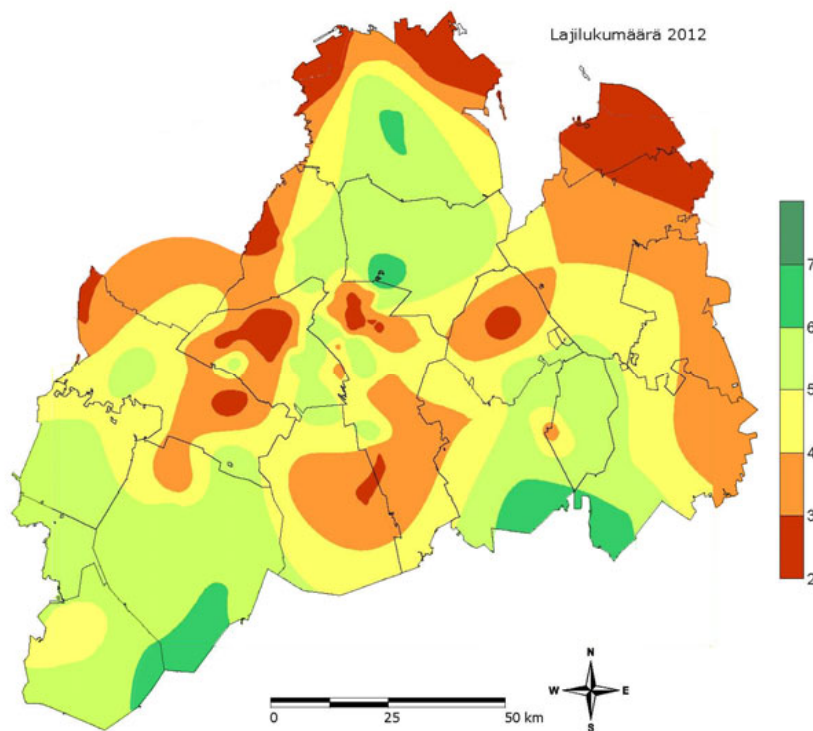
Tutkimuspuiden rungoilla esiintyvien lajien kokonaismäärien laskennassa huomioitiin ainoastaan ilman epäpuhtauksista kärsivät 10 jäkälälajia. Tutkimusalueella ei havaittu erittäin selvästi lajistoltaan köyhtyneitä havaintoaloja, mutta ei myöskään jäkälälajistoltaan normaaliksi luokiteltavia aloja. Lajilukumäärät jakautuivat tasaisesti lievästi-selvästi köyhtyneisiin havaintoalueisiin. Selvästi köyhtyneet alat sijaitsivat Seinäjoen pohjoisosassa, Ilmajoella ja Kuortaneella, mutta myös tutkimusalueen pohjoisosassa Kauhavalla ja Vimpelissä. Lajirikkaimmat alat sijaitsivat tutkimusalueen eteläosassa Kauhajoella, Alavudella ja Ähtärissä.

Taulukko 17. Tutkimusalueen jäkälälajiston luokitus lajilukumäärän perusteella.

Luokka	Lajiston kuvaus	Havaintoalojen lukumäärä	%
0-1	Erittäin selvästi köyhtynyt	0	0,0
2-3	Selvästi köyhtynyt	34	35,8
4-5	Köyhtynyt	30	31,6
6-7	Lievästi köyhtynyt	31	32,6
≥8	Normaali jäkälälajisto	0	0,0



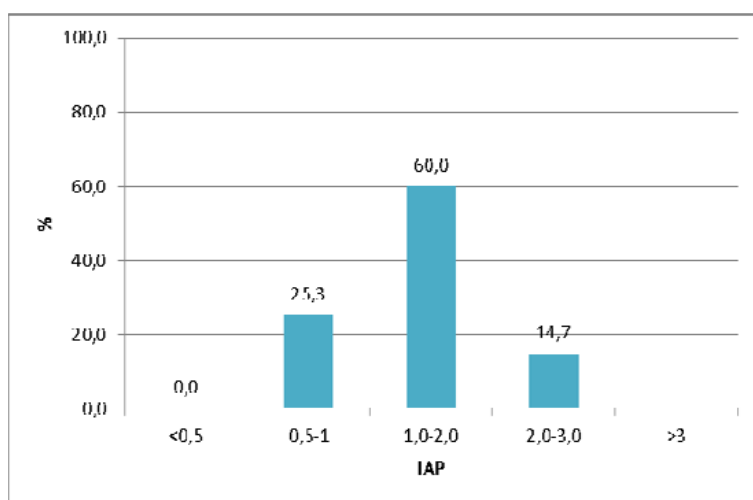
Kuva 4-12. Tutkimuksessa selvitettyjen ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien (10 lajia) lukumäärät havaintoaloilla vuonna 2012.



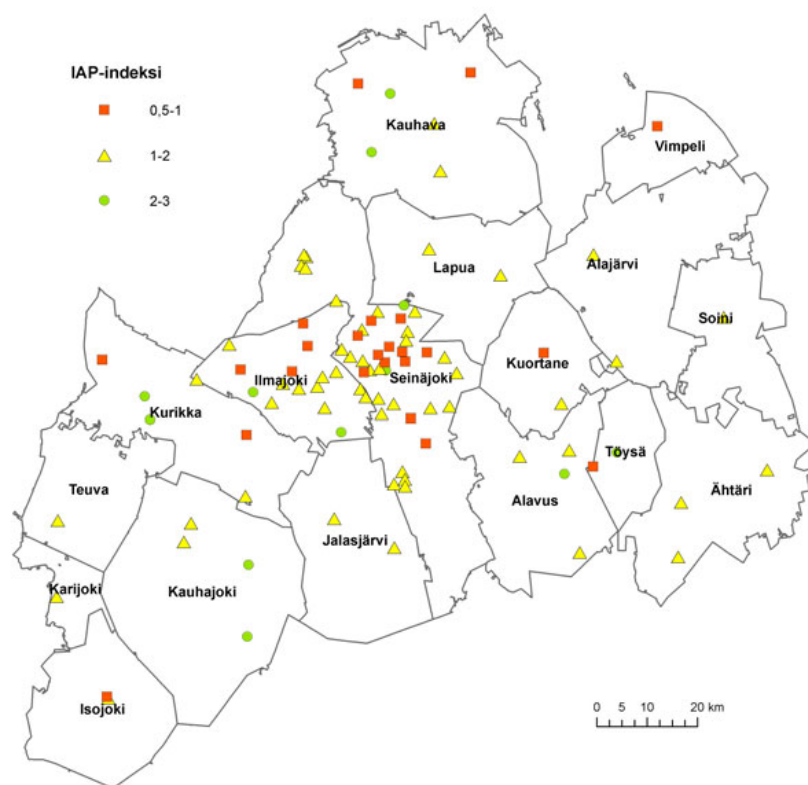
Kuva 4-13. Tutkimuksessa selvitettyjen ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien (10 lajia) lukumäärät vyöhykkeittäin vuonna 2012.

4.6 IAP-indeksi

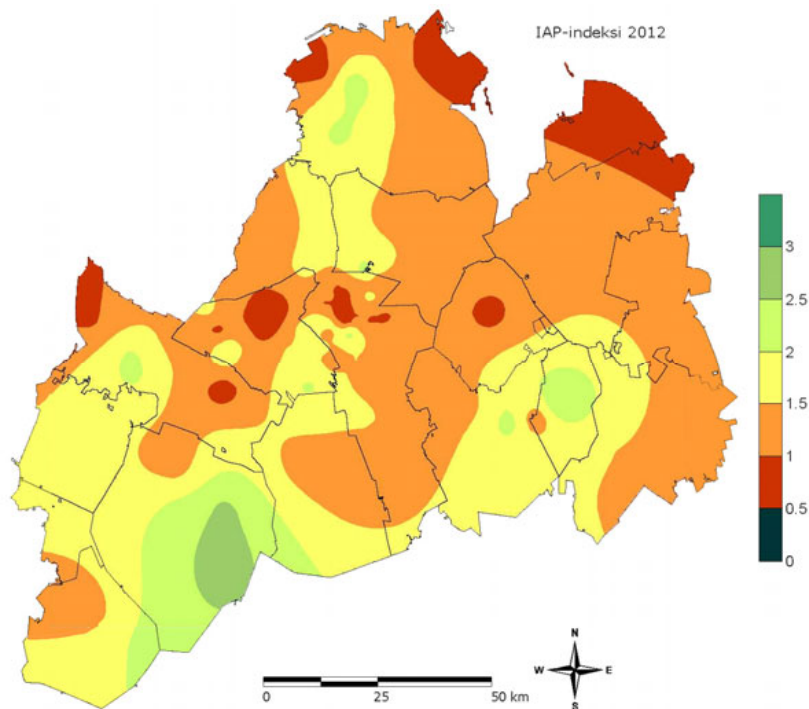
IAP-indeksi (*Index of Air Purity*, ks. luku 3.3) oli tutkimusalueella keskimäärin 1,4, minkä perusteella lajistoa voidaan kuvailla köyhtyneeksi käytetyn luokituksen mukaisesti (Taulukko 10). Pie-nin indeksi-arvo 0,5 (selvästi köyhtynyt) laskettiin Seinäjoen Nurmossa. Lajistoltaan selvästi köyhtyneet alat sijaitsivat pääosin Seinäjoen taajama-alueella ja Ilmajoella, sekä tutkimusalueen pohjoisosassa Vimpelissä ja Kauhavalla. Tutkimusalueella ei kuitenkaan havaittu jäkäläautioita tai lähes jäkäläautioita, joissa indeksi oli alle 0,5. Suurin osa (60 %) havaintoaloista sijoittui luokkaan 1–2, jossa lajisto on köyhtynyt, mutta herkimpiä lajeja voi esiintyä puiden rungoilla. Tähän vyöhykkeeseen kuuluivat tutkimusalueen pohjoiset keskiosat sekä itäosa. Lajistoltaan lievästi muuttuneita aloja (luokka 2–3) sijaitsi erityisesti tutkimusalueen eteläosassa Töysän ja Kauhajoen ympäristössä.



Kuva 4-14. IAP-indeksin frekvenssit tutkimusalueella vuonna 2012.



Kuva 4-15. IAP-indeksi tutkimusalueella vuonna 2012.



Kuva 4-16. IAP-indeksivyyhykkeet tutkimusalueella vuonna 2012.

4.7 Neulasten alkuainepitoisuudet

Neulasnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot sekä keskihajonta on esitetty oheisessa taulukossa (Taulukko 18).

Taulukko 18. Neulasnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot sekä keskihajonta, n=95

	S	N	P	K	Ca	B	Cd
	mg/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	898	11,6	1 386	5 076	3 434	14,6	0,08
pienin	590	6,9	1 100	3 600	1 500	2,30	0,03
suurin	1500	16	1 700	7 000	5 900	67,0	0,18
keskihajonta	166	1,67	128,5	611	938	7,36	0,03

	Cr	Cu	Mg	Mn	Ni	Fe	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	0,20	3,05	895	392	0,50	90,7	46,9
pienin	0,08	2,40	600	120	0,16	44,0	19,0
suurin	0,77	4,10	1 400	980	1,30	290,0	72,0
keskihajonta	0,11	0,36	137	1150	0,27	42,4	10,8

Neulasten rikkipitoisuuden keskiarvo tutkimusalueella oli 898 mg/kg. Neulasten normaalina rikkipitoisuutena pidetään noin tasoa 900 mg/kg (luku 3.4). Rikkipitoisuus oli suuremmillaan (1 500 mg/kg) Seinäjoella Törnäväntien varressa sekä Ilmajoen ja Kurikan rajalla Jurvantien varressa (1 400 mg/kg). Yli 900 mg/kg rikkipitoisuuksia havaittiin yhteensä 39 havaintoalalla, jotka sijoituivat pääasiassa Seinäjoen keskusta-alueelle sekä tutkimusalueen keskiosiin.

Neulasten typpipitoisuuden keskiarvo oli 11,6 g/kg. Neulasten sopivana typpipitoisuutena pidetään ≥ 14 g/kg (Jukka 1988). Valtaosa havaintoaloista typpipitoisuus oli alhaisella tasolla (alle 11 g/kg).

Neulasten fosforipitoisuuden keskiarvo oli 1 386 mg/kg. Alhaisia alle 1 200 mg/kg fosforipitoisuuksia mitattiin 13 alalla. Noin puolet havaintoaloista sijoittui fosforipitoisuudeltaan välttävään luokkaan (1 200–1 440 mg/kg) (Jukka 1988). Kolmasosalla havaintoaloista fosforipitoisuus oli kasvulle sopivalla tasolla ($\geq 1 450$ mg/kg).

Neulasten kaliumpitoisuuden keskiarvo tutkimusalueella oli 5 077 mg/kg ja suurin pitoisuus 7 000 mg/kg. Kahta havaintoalaa lukuun ottamatta pitoisuus oli $\geq 4 000$ mg/kg, mitä pidetään sopivana neulasten kaliumtasona. Kahdella havaintoalalla kaliumpitoisuus oli välttävä, 3 500–3 900 mg/kg.

Valtaosalla havaintoaloista (85 havaintoalaa) neulasten booripitoisuus oli sopivalla tasolla ($\geq 8,0$ mg/kg). Yhdeksällä havaintoalalla pitoisuus oli välttävä (5,0–7,9 mg/kg) ja yhdellä Vimpelissä sijaitsevalla alalla välttävä ($< 5,0$ mg/kg) käytetyn luokituksen mukaisesti (Jukka 1988).

Kalsiumpitoisuuden keskiarvo oli 3 434 mg/kg. Noin kolmanneksella havaintoaloista pitoisuus oli 2 000–3 000 mg/kg, samoin kuin 3 000–4 000 mg/kg. Neljänneksellä havaintoaloista kalsiumpitoisuus oli yli 4 000 mg/kg. Kahdella havaintoalalla pitoisuus oli alle 2 000 mg/kg.

Neulasten kadmiumpitoisuuden keskiarvo tutkimusalueella oli 0,08 mg/kg. Pitoisuus oli 20 alalla alle määritysrajan 0,05 mg/kg. Noin puolella havaintoaloista pitoisuus oli 0,051–0,1 mg/kg.

Kromipitoisuuden keskiarvo tutkimusalueella oli 0,20 mg/kg. Valtaosa havaintoaloista (77 havaintoalaa) sijoittui luokkaan 0,11–0,5 mg/kg. Suurimmat neulasnäytteiden kromipitoisuudet mitattiin Seinäjoen Nurmossa (0,77 mg/kg) ja Kauhavalla (0,67 mg/kg).

Kuparipitoisuuden keskiarvo oli 3,1 mg/kg. Lähes puolet havaintoaloista (45 havaintoalaa) sijoittui luokkaan, jossa kuparipitoisuus oli 3–4 mg/kg. Lähes yhtä monta alaa (42 havaintoalaa) sijoittui luokkaan 2,5–3 mg/kg. Seinäjoella Nurmossa sijaitsevalla havaintoalalla pitoisuus oli 4,1 mg/kg.

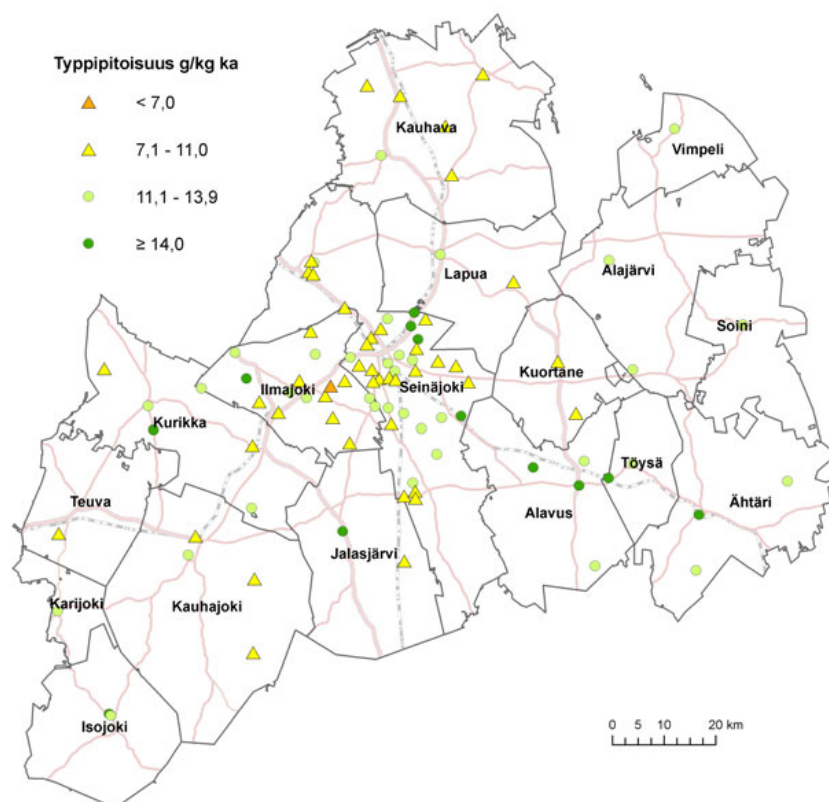
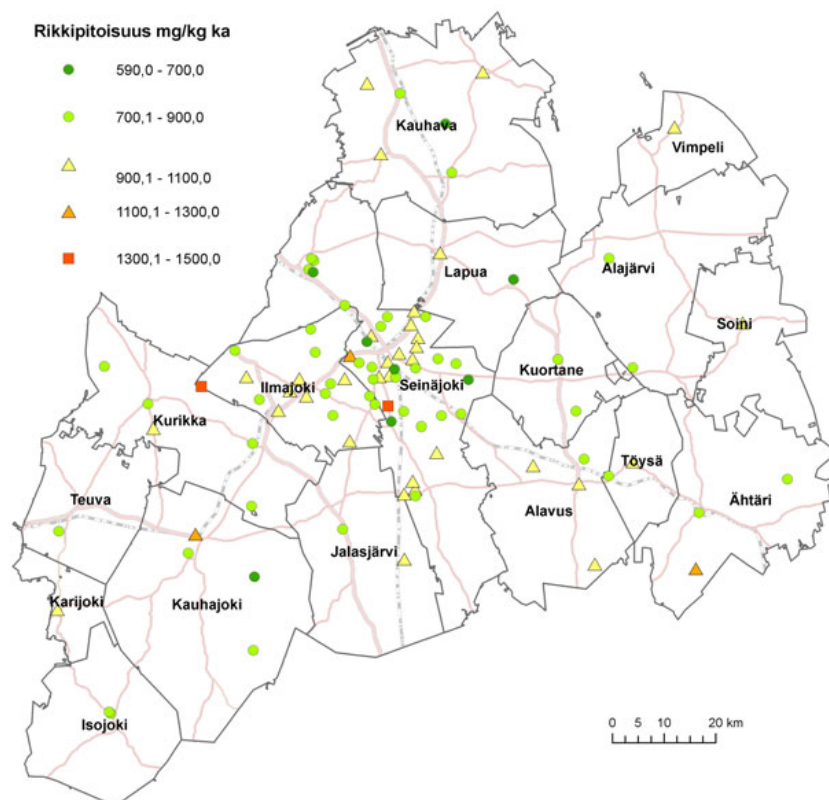
Neulasnäytteiden magnesiumpitoisuuden keskiarvo oli 895 mg/kg. Yli puolet havaintoaloista (58 havaintoalaa) sijoittui luokkaan 800–1 000 mg/kg. Kahdella havaintoalalla, jotka sijaitsivat Seinäjoen Kapernaumissa ja Soinin taajaman pohjoispuolella, magnesiumpitoisuus oli 1 200 mg/kg.

Neulasnäytteiden mangaanipitoisuuden keskiarvo oli 392 mg/kg. Noin puolet havaintoaloista (49 alaa) sijoittui luokkaan, jossa pitoisuus oli 300–500 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet mitattiin Kuortaneelta (770 mg/kg), Seinäjoelta (780 mg/kg), Alavudelta (870 mg/kg) ja Ilmajoelta (980 mg/kg).

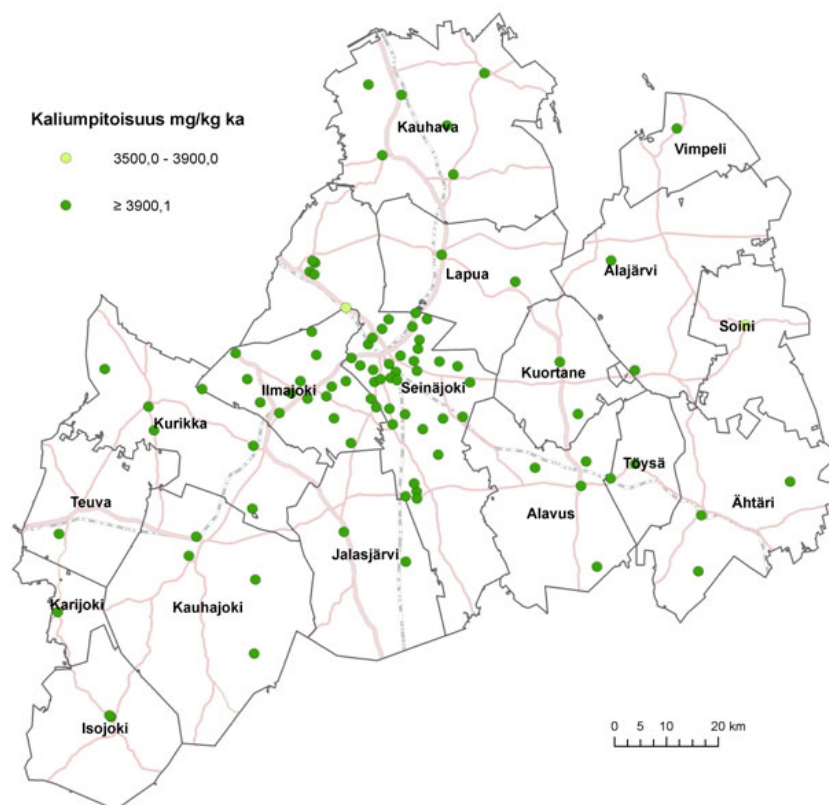
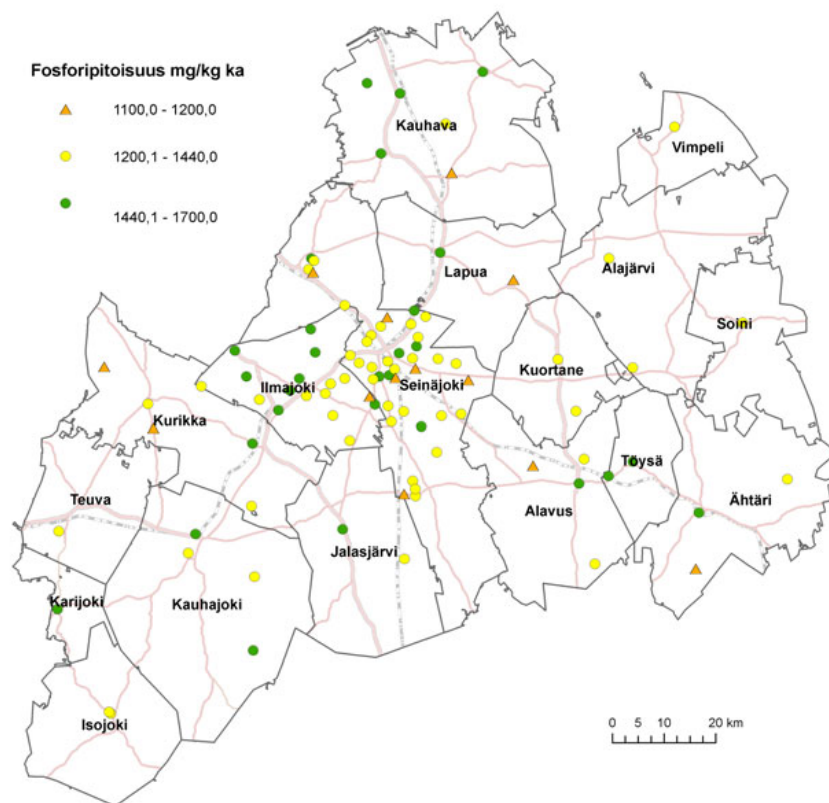
Nikkelipitoisuuden keskiarvo oli 0,5 mg/kg. Runsas 40 % havaintoaloista (41 alaa) sijoittui luokkaan 0,2–0,4 mg/kg ja luokkaan 0,4–0,8 mg/kg (39 alaa). Suurin pitoisuus 1,3 mg/kg mitattiin Seinäjoen Törnävältä Vuorikosken kupeesta sekä Ilmajoen Könnintien kupeesta.

Rautapitoisuuden keskiarvo oli 91 mg/kg. Valtaosalla, 66 havaintoalalla, rautapitoisuus oli 50–100 mg/kg luokkaa. Suurimmat rautapitoisuudet mitattiin Seinäjoen taajama-alueen eteläpuolelta (290 mg/kg) sekä Kauhavan keskiosasta (210 mg/kg).

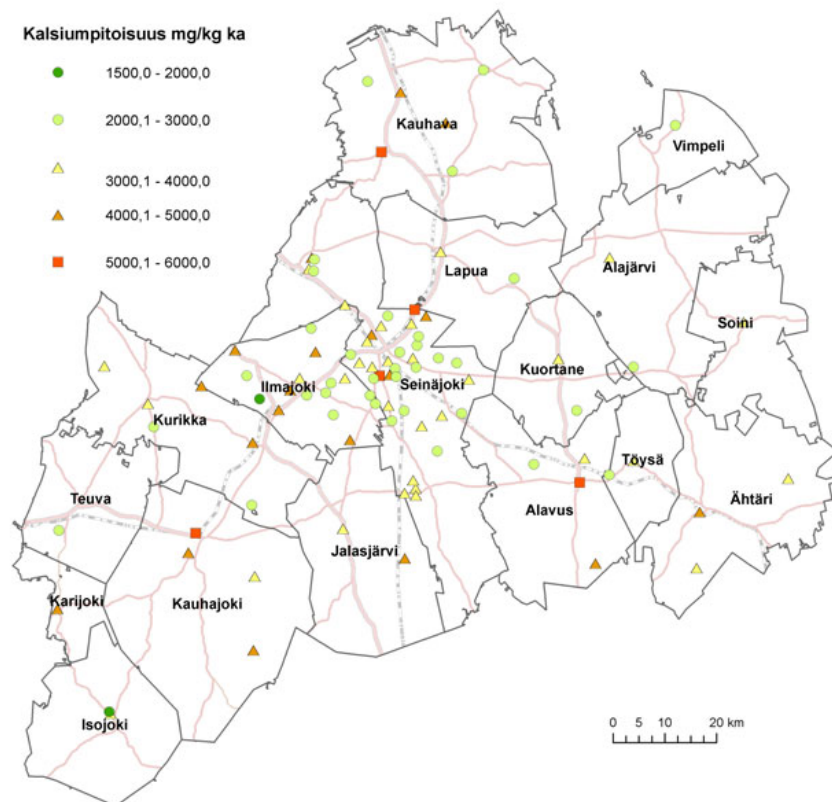
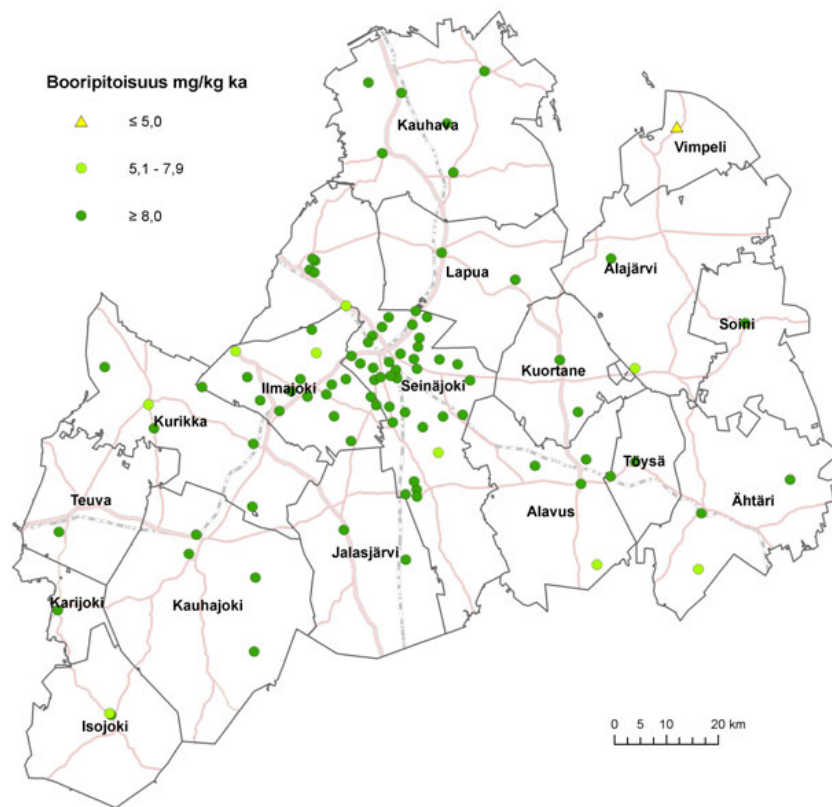
Neulasnäytteiden sinkkipitoisuuden keskiarvo oli 47 mg/kg. Runsaalla 50 % havaintoaloista (52 havaintoalaa) sinkkipitoisuus oli 40–60 mg/kg.



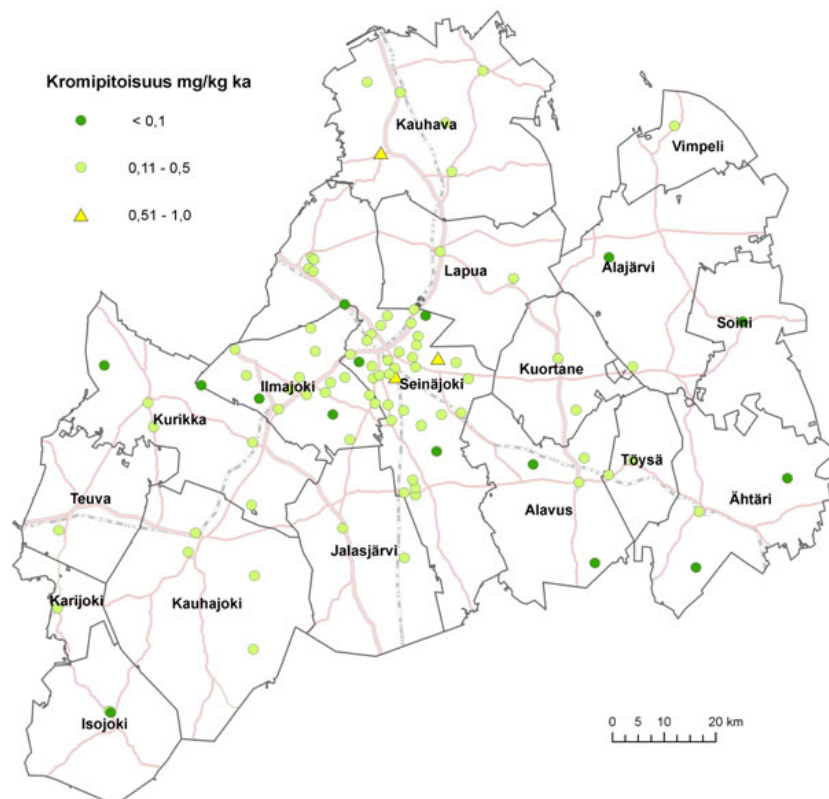
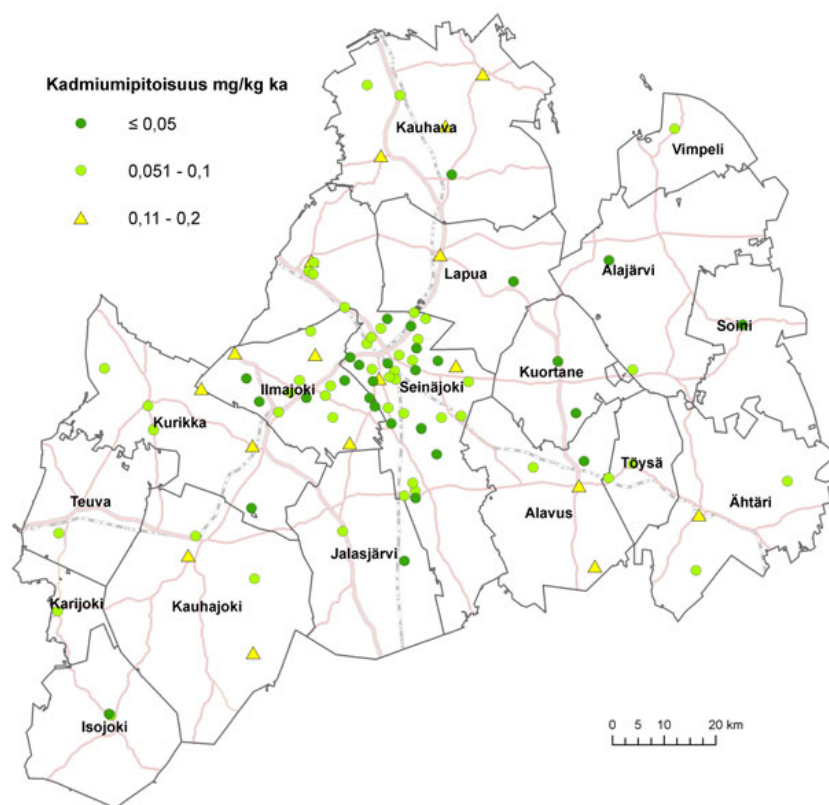
Kuva 4-17. Neulasnäytteiden rikki- ja typipitoisuus tutkimusalueella keväällä 2012 (n=95).



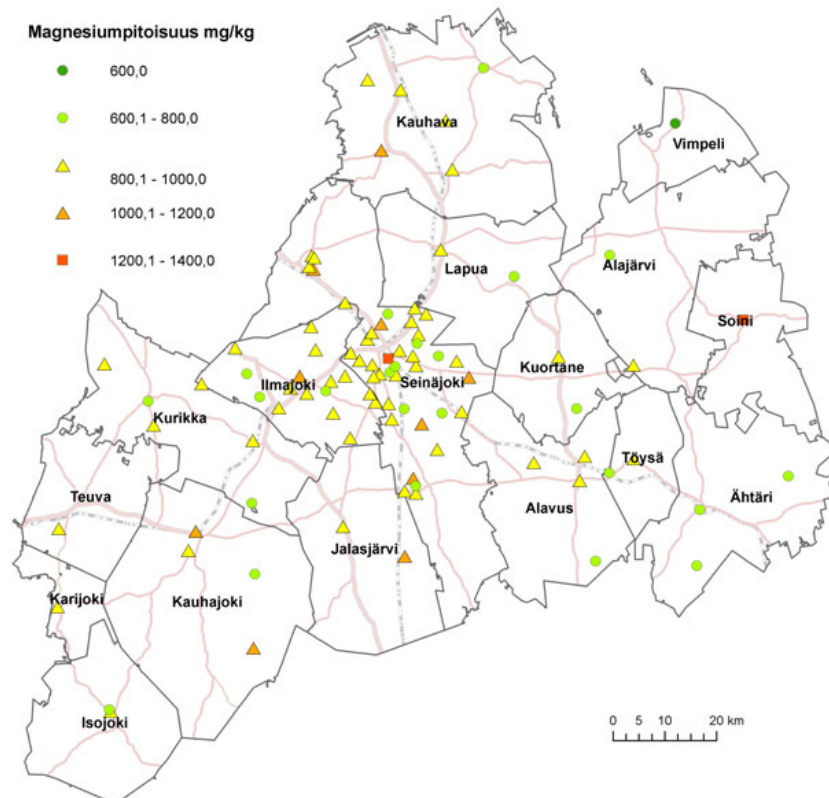
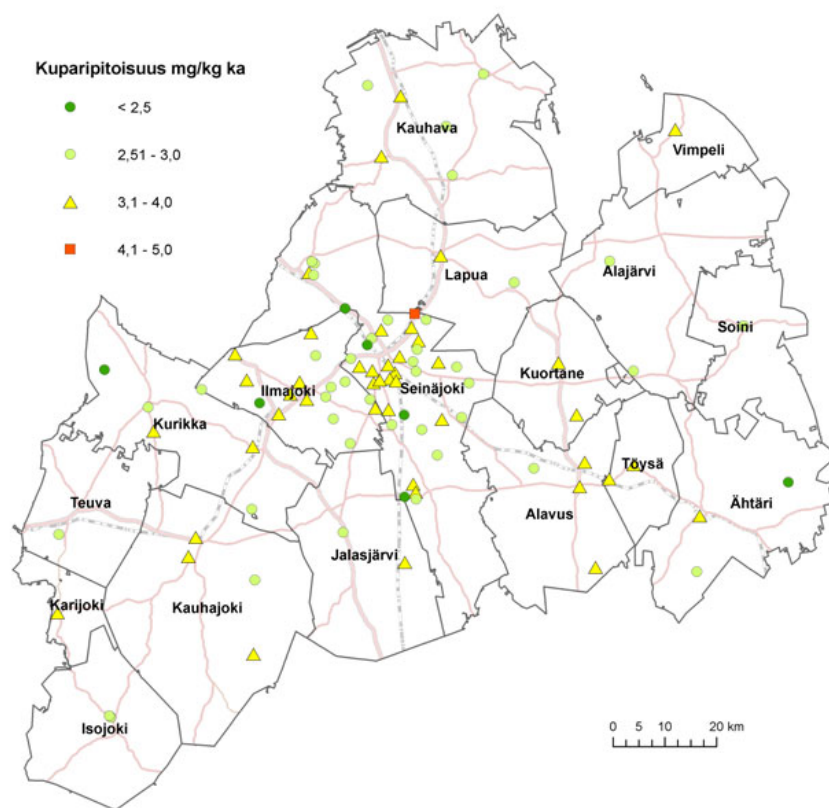
Kuva 4-18. Neulasnäytteiden fosfori- ja kaliumpitoisuus tutkimusalueella keväällä 2012 (n=95).



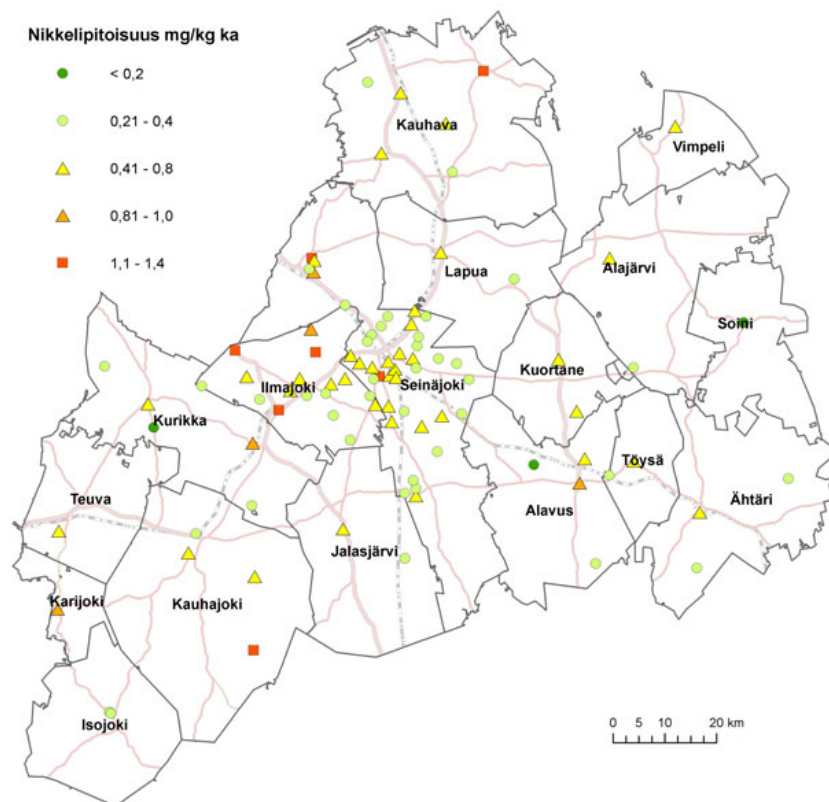
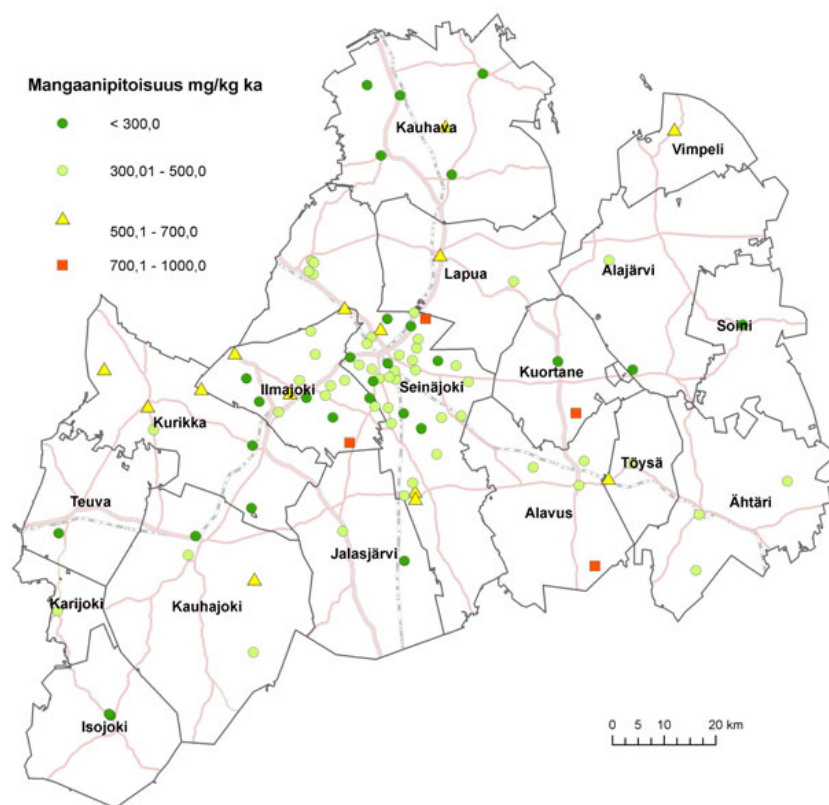
Kuva 4-19. Neulasnäytteiden boori- ja kalsiumpitoisuus tutkimusalueella keväällä 2012 (n=95).



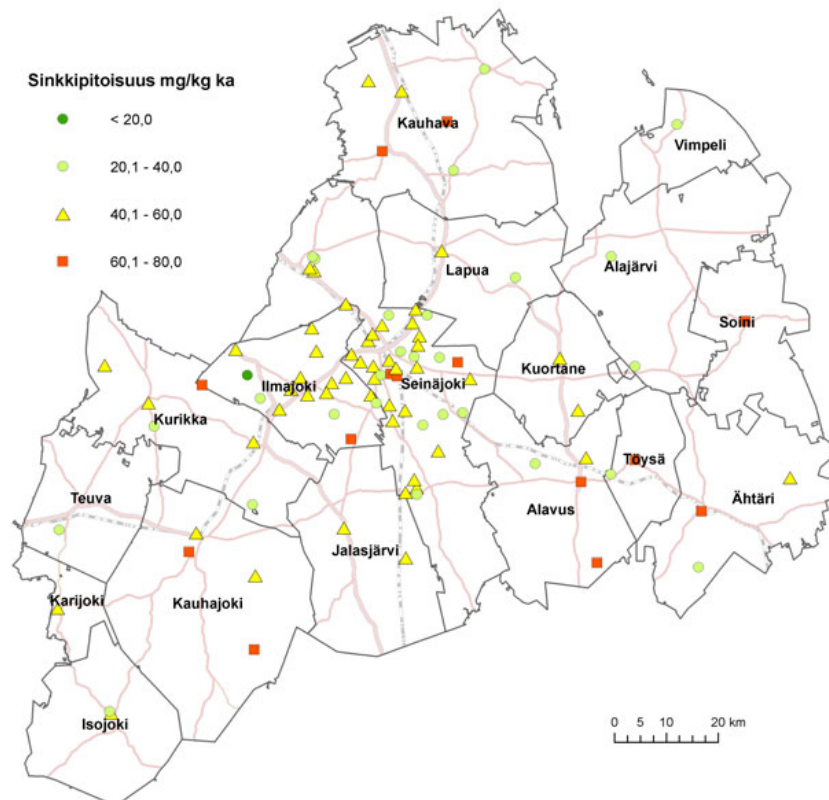
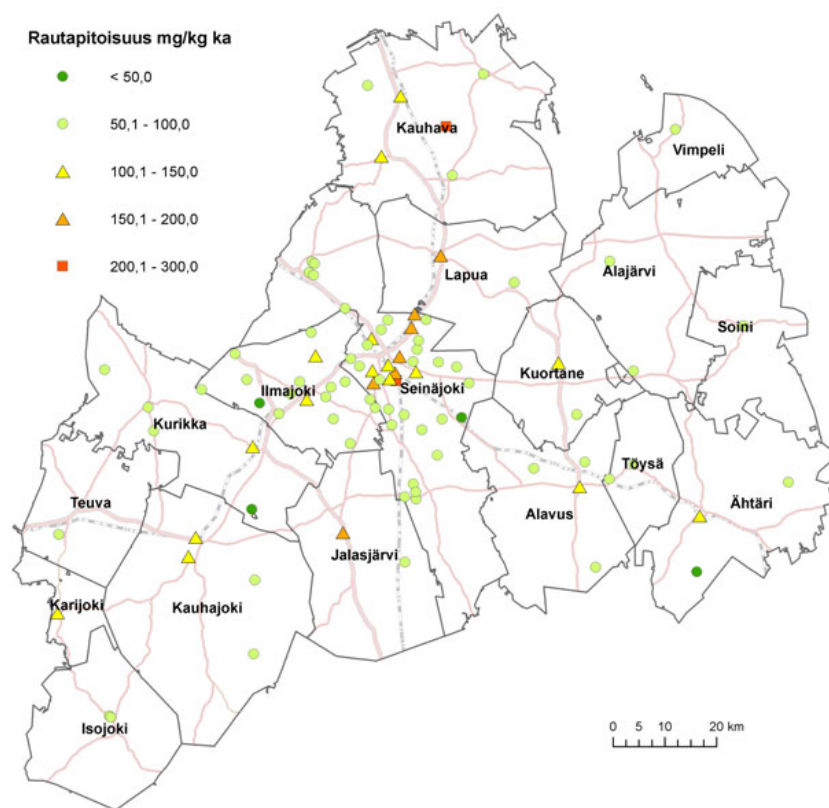
Kuva 4-20. Neulasnäytteiden kadmium- ja kromipitoisuus tutkimusalueella keväällä 2012 (n=95).



Kuva 4-21. Neulasnäytteiden kupari- ja magnesiumpitoisuus tutkimusalueella keväällä 2012 (n=95).



Kuva 4-22. Neulasnäytteiden mangaani- ja nikkelipitoisuus tutkimusalueella keväällä 2012 (n=95).



Kuva 4-23. Neulasnäytteiden rauta- ja sinkkipitoisuus tutkimusalueella keväällä 2012 (n=95).

4.8 Sammalten alkuainepitoisuudet

Sammalnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot sekä keskihajonta on esitetty oheisessa taulukossa (Taulukko 19).

Taulukko 19. Sammalnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot sekä keskihajonta, n=41.

	Al	As	B	Hg	P	Cd	K	Ca	Co	Cr
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	285	0,38	5,10	0,03	1 552	0,11	8 739	2 873	0,35	3,56
pienin	72	<0,05	1	0,013	660	0,069	5 000	1 800	0,1	0,36
suurin	770	1,6	28	0,087	3 000	0,27	1 500	4 100	0,95	19
keskihajonta	186	0,37	6,16	0,01	426	0,04	2 303	539	0,24	3,63

	Cu	Pb	Mg	Mn	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	5,76	1,10	1 389	262	89	2,56	439	945	32	1,22
pienin	3,5	0,64	850	93	48	0,11	100	540	21	0,33
suurin	11	7,3	2 400	440	250	12	1 600	2 100	48	4,7
keskihajonta	1,73	1,02	344	82	34	2,38	383	275	7	1,01

Sammalnäytteiden alumiinipitoisuuden keskiarvo tutkimusalueella oli 285 mg/kg. Pitoisuudet olivat suurimmillaan Seinäjoen Kapernaumin teollisuusalueen läheisyydessä (640 ja 770 mg/kg). 400–600 mg/kg alumiinipitoisuuksia mitattiin Kapernaumin alueesta itään, Puuttomantien kupeessa sekä Nurmon taajaman koillispuolella. Pitoisuudet olivat pienimmillään (alle 200 mg/kg) Seinäjoen lentokentän ja Kyrkösjärven ympäristössä sekä Seinäjoen Parkkikorvessa.

Arseenipitoisuuden keskiarvo oli 0,38 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet, 1,6 ja 1,3 mg/kg, mitattiin Kapernaumin teollisuusalueella. Muilta osin arseenipitoisuudet sijoittuivat luokkaan 0,051–1,0 mg/kg. Lentokentän pohjoispuolella sijaitsevalla havaintoalalla arseenipitoisuus oli alle määrittämissä rajoissa 0,05 mg/kg.

Elohopeapitoisuuden keskiarvo oli 0,03 mg/kg. Suurin pitoisuus, 0,087 mg/kg, mitattiin Nurmon taajaman koillispuolella. Kyrkösjärven pohjoispuolella mitattiin 0,064 mg/kg. Pitoisuus muilla havaintoaloilla sijoittui luokkaan 0,03–0,05 mg/kg.

Sammalnäytteiden kadmiumpitoisuuden keskiarvo oli 0,11 mg/kg. Suurin pitoisuus (0,27 mg/kg) mitattiin Nurmon taajaman koillispuolelta (0,18 mg/kg). Lisäksi Kapernaumin alueen itäpuolella mitattiin 0,16 mg/kg pitoisuus. Muilta osin pitoisuudet sijoittuivat 0,071–0,14 mg/kg välille. Pienin pitoisuus (0,069 mg/kg) mitattiin Ilmajoen jätehuoltokeskuksen itäpuolelta.

Kromipitoisuuden keskiarvo oli 3,6 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet sijoittuivat Kapernaumin teollisuusalueen ympäristöön (3–19 mg/kg). Nurmon taajama-alueen koillispuolella mitattiin 7,1 mg/kg pitoisuus. 2,51–5,0 mg/kg pitoisuuksia mitattiin Kyrkösjärven turvevoimalan ympäristössä ja Hiirijärven tekojärven länsirannalla.

Kuparipitoisuuden keskiarvo tutkimusalueella oli 5,8 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet mitattiin Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä (8,5–11 mg/kg) sekä Törnäväntien länsipuolella (10 mg/kg). Nurmon taajaman koillispuolella mitattiin 6,6–7,8 mg/kg. Pienimmät pitoisuudet (<4 mg/kg) mitattiin Kyrkösjärven itärannalla sekä lentokentän kupeessa.

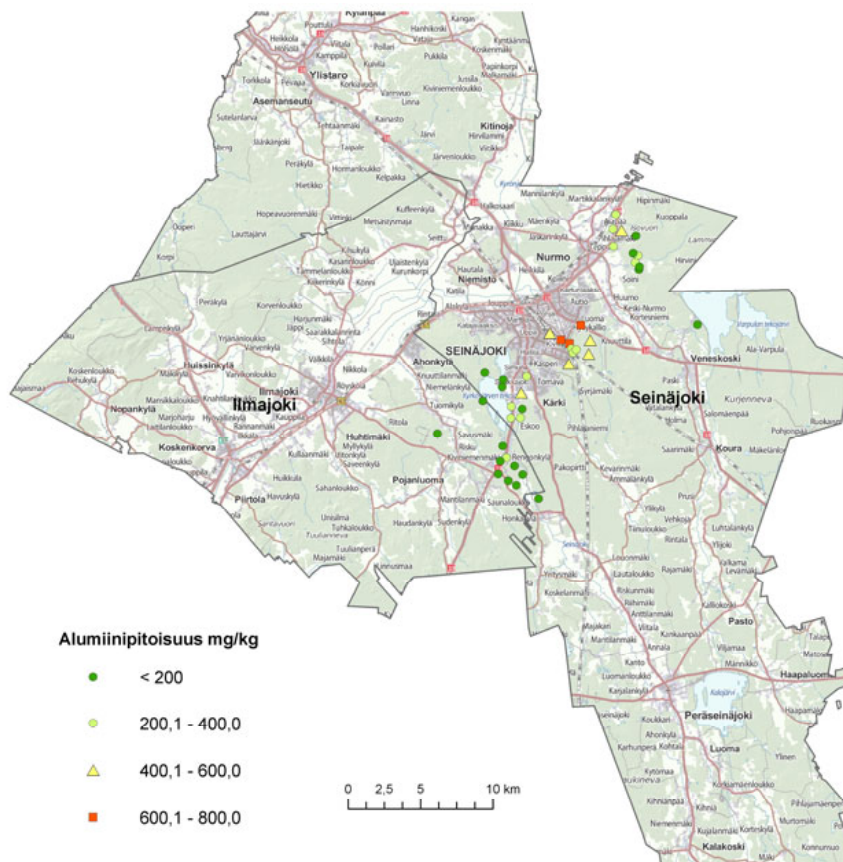
Lyijypitoisuuden keskiarvo oli 1,1 mg/kg. Suurin yksittäinen lyijypitoisuus mitattiin Nurmon taajaman koillispuolelta (7,3 mg/kg). Törnävällä mitattiin 1,7 mg/kg, muilta osin lyijypitoisuudet olivat alle 1,5 mg/kg.

Nikkelipitoisuuden keskiarvo oli 2,6 mg/kg. Suurimmat nikkelipitoisuudet mitattiin Kapernaumin teollisuusalueen länsipuolelta (12,0 ja 9,8 mg/kg). Kapernaumin alueen lisäksi 2,1–6,0 mg/kg pitoisuuksia mitattiin Hamarintien ympäristössä ja Nurmon taajaman koillispuolella. Pienimmillään pitoisuudet olivat lentokentän ympäristössä.

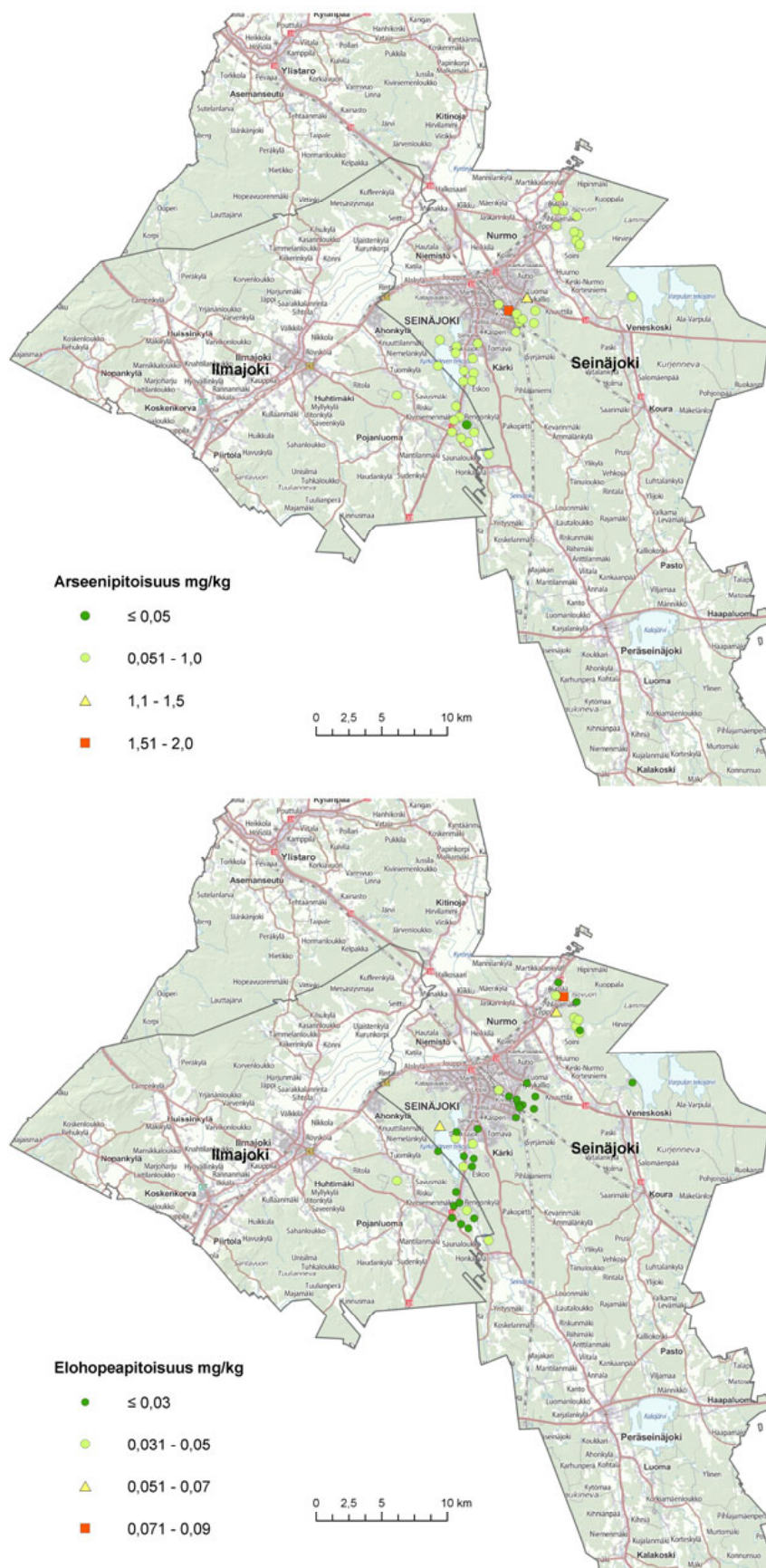
Rautapitoisuuden keskiarvo oli 439 mg/kg. Suurimmat rautapitoisuudet mitattiin Kapernaumin ympäristössä ja Nurmon taajaman koillispuolella (1 200–1 600 mg/kg). Pienimmät pitoisuudet mitattiin lentokentän ja Kyrkösjärven ympäristössä.

Rikkipitoisuuden keskiarvo oli 945 mg/kg. Suurimmat rikkipitoisuudet mitattiin Nurmon taajaman koillispuolella (2 100 ja 1 500 mg/kg). 1 000–1 400 mg/kg pitoisuuksia mitattiin Kapernaumin alueella ja Törnävällä. Valtaosa muista havaintoaloista sijoittui pitoisuudeltaan luokkaan 600–1 000 mg/kg. Alle 600 mg/kg yksittäiset pitoisuudet mitattiin lentokentän ja Kyrkösjärven ympäristössä.

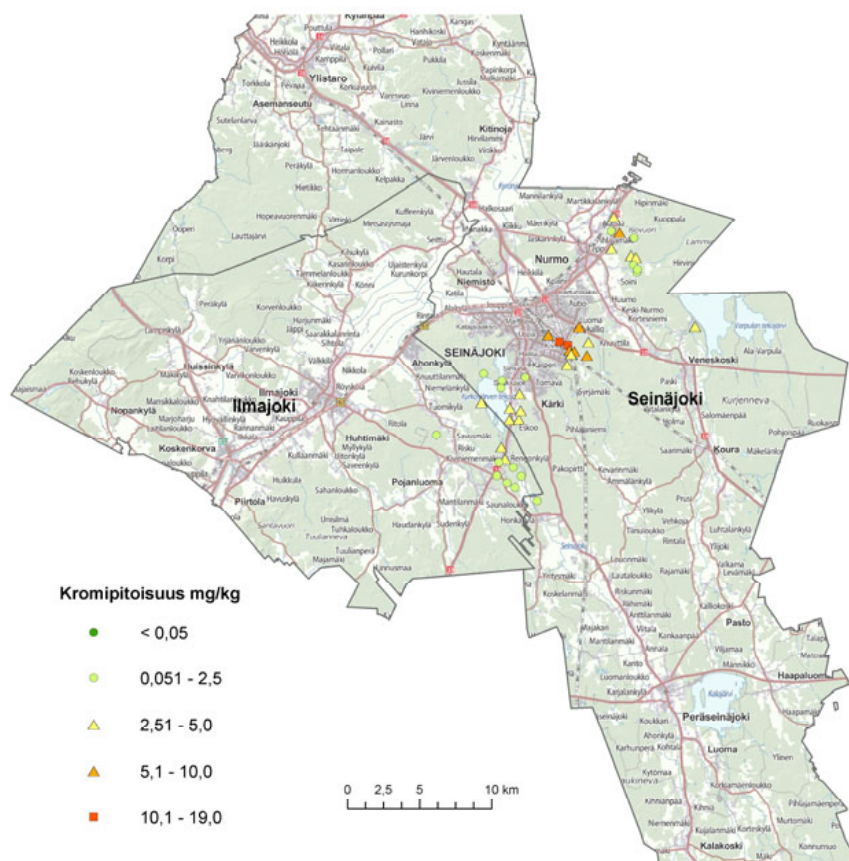
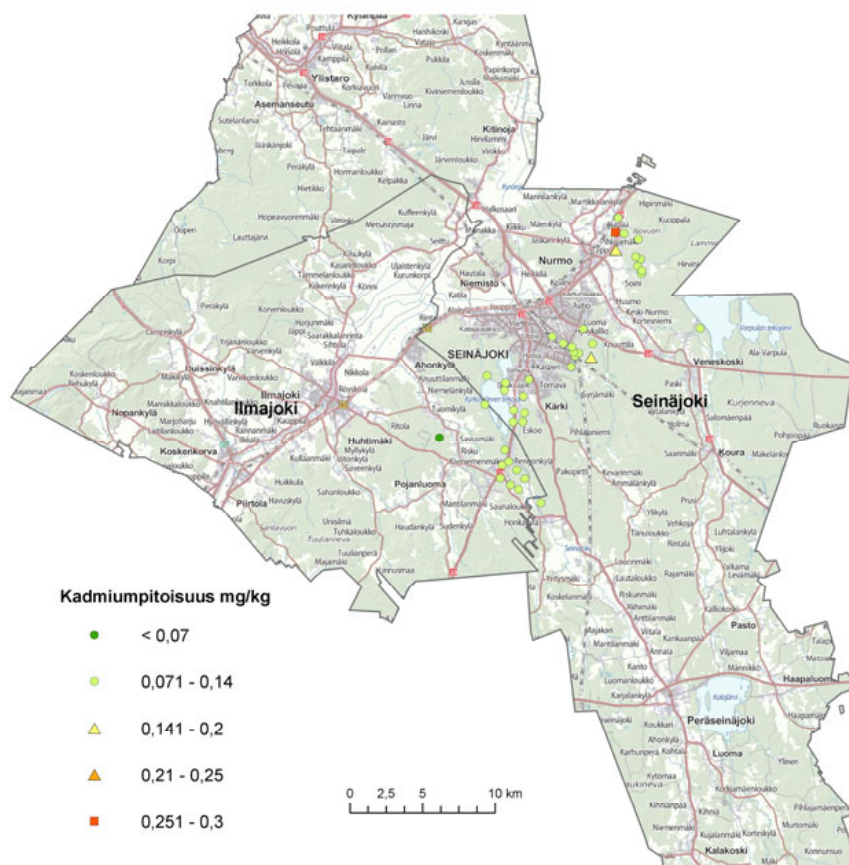
Sinkkipitoisuuden keskiarvo oli 32 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet mitattiin Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä (31–48 mg/kg) ja Nurmon taajaman koillispuolella (32–46 mg/kg). Pienimmät pitoisuudet olivat Kyrkösjärven rannoilla ja lentokentän ympäristössä (22–29 mg/kg).



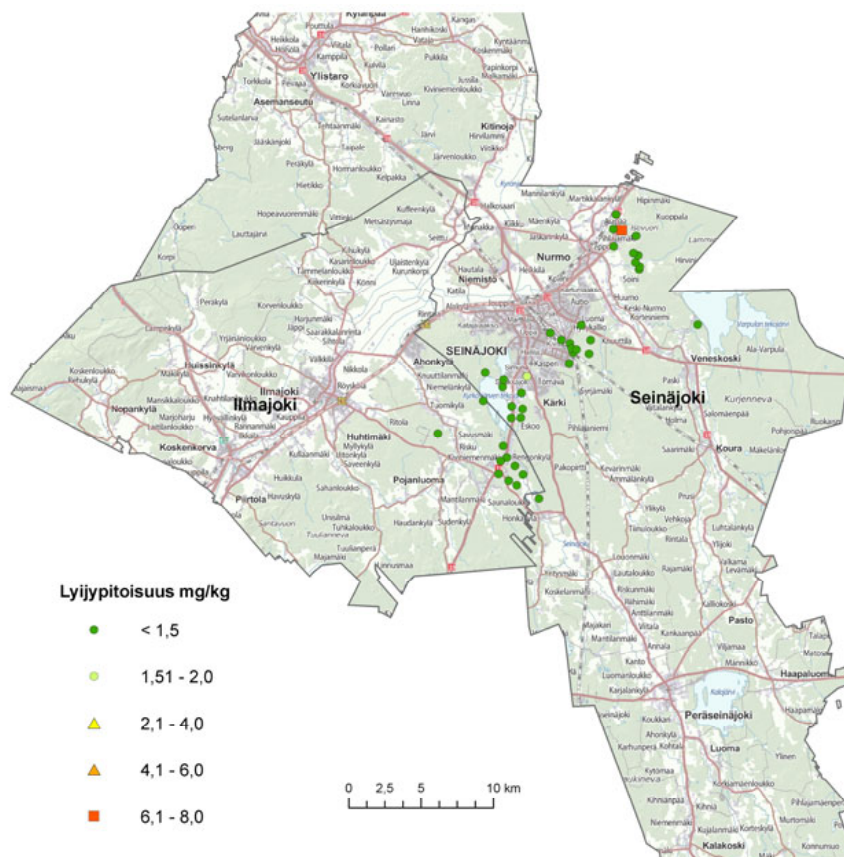
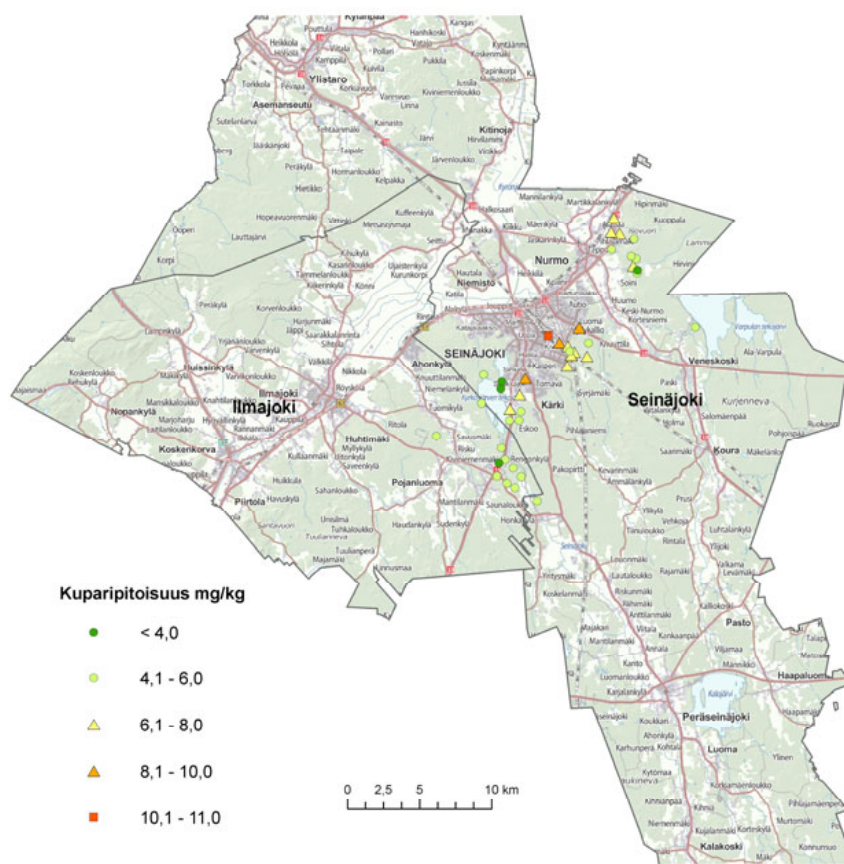
Kuva 4-24. Sammalnäytteiden alumiinipitoisuus tutkimusalueella keväällä 2012 (n=41).



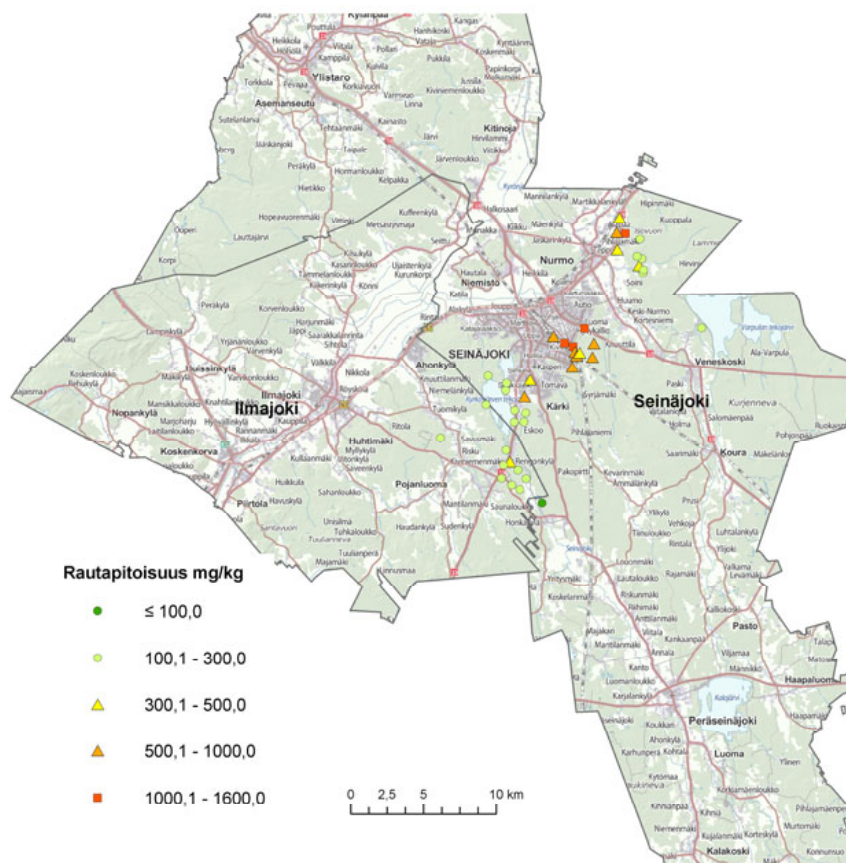
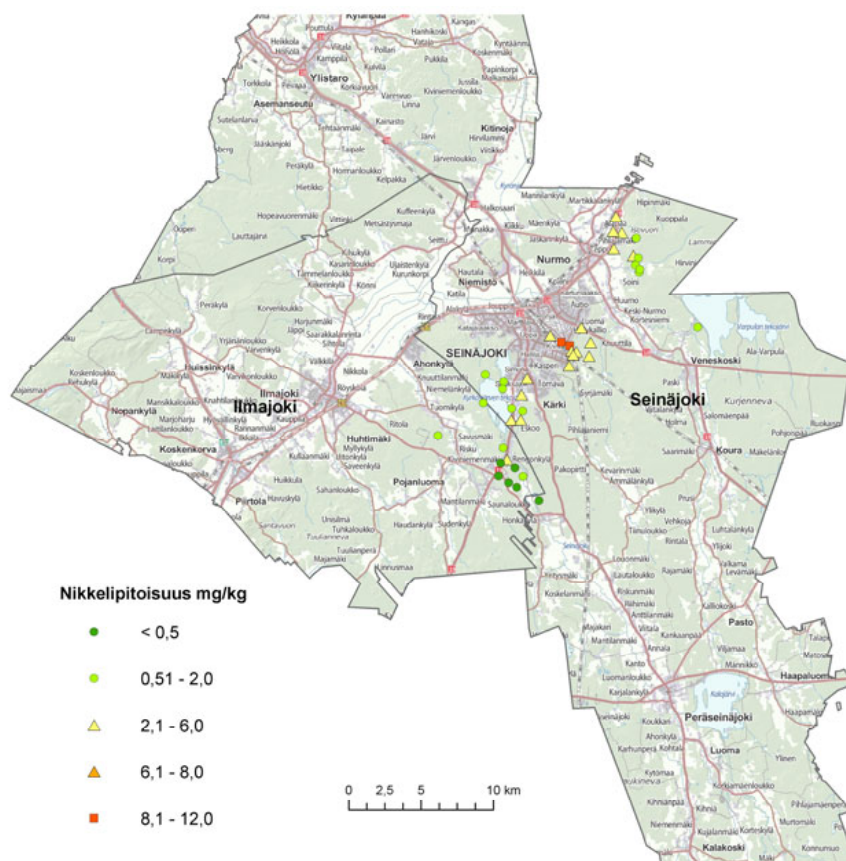
Kuva 4-25. Sammalnäytteiden arseeni- ja elohopeapitoisuus tutkimusalueella keväällä 2012 (n=41).



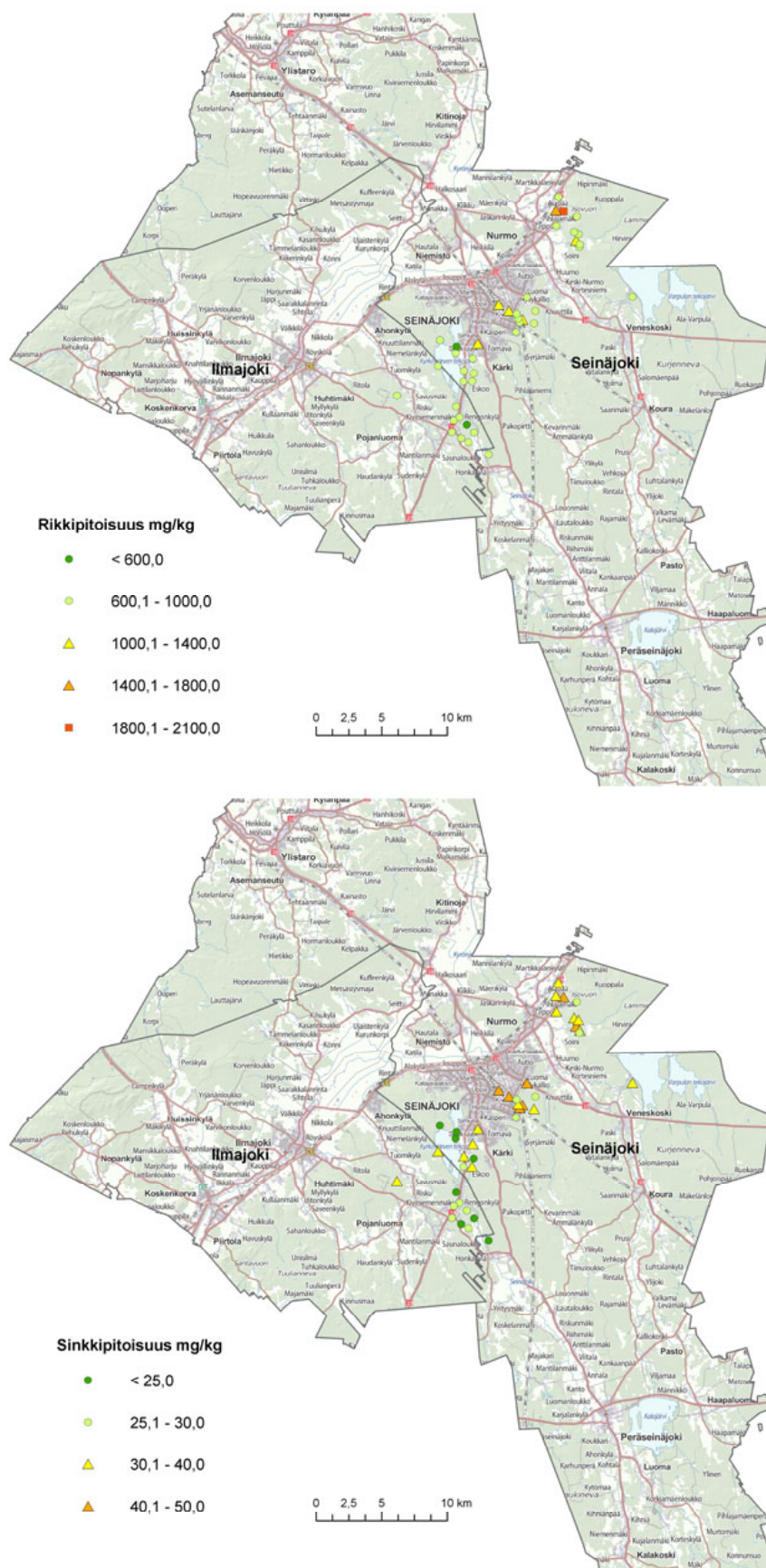
Kuva 4-26. Sammalnäytteiden kadmium- ja kromipitoisuus tutkimusalueella keväällä 2012 (n=41).



Kuva 4-27. Sammalnäytteiden kupari- ja lyijypitoisuus tutkimusalueella keväällä 2012 (n=41).



Kuva 4-28. Sammalnäytteiden nikkeli- ja rautapitoisuus tutkimusalueella keväällä 2012 (n=41).



Kuva 4-29. Sammalnäytteiden rikki- ja sinkkipitoisuus tutkimusalueella keväällä 2012 (n=41).

4.9 Sammalpallojen alkuainepitoisuudet

Sammalpallojen sijaintipaikat on esitetty oheisessa kuvassa. Kullakin havaintoalalla oli kolme palloa.



Kuva 4-30. Sammalpallojen sijainti Seinäjoen ja Ilmajoen alueilla.

Sammalpallonäytteiden alkuainepitoisuudet on esitetty oheisessa taulukossa (Taulukko 20). Boorin ja fosforin osalta kaikilla havaintoaloilla ja alumiinin, arseenin, elohopean, kadmiumin, kobolttin, kromin, natriumin, rikin ja vanadiinin osalta osalla havaintoaloista sammalpalloihin kertyneet pitoisuudet olivat pienempiä kuin nollapallojen pitoisuudet. Tällöin pitoisuudeksi on ilmoitettu 0 mg/kg/30d.

Alumiinin, kadmiumin, kaliumin, kromin, kuparin, lyijyn, mangaanin, nikkelin, sinkin ja vanadiinin osalta suurimmat pitoisuudet mitattiin havaintoalalla SS13, joka sijaitsee Kapernaumin teollisuusalueen välittömässä läheisyydessä. Lentokentän läheisyydessä sijaitsevalla havaintoalalla SS29 mitattiin suurimmat alumiinin, kadmiumin, kaliumin, kromin ja raudan pitoisuudet. Kyrkösjärven läheisyydessä sijaitsevalla havaintoalalla SS22 mitattiin ainoastaan natriumin osalta suurin pitoisuus.

Taulukko 20. Sammalpallojen alkuainepitoisuudet (mg/kg/30d).

Havaintoala	Al	As	B	Hg	P	Cd	K	Ca	Co	Cr
SS7	0	0	0	0,003	0	0,0048	44	25	0	0
SS13	36	0,08	0	0	0	0,028	58	130	0,056	0,063
SS22	20	0,05	0	0	0	0	62	61	0,022	0
SS29	39	0,03	0	0	0	0,0054	140	41	0,021	0,067

Havaintoala	Cu	Pb	Mg	Mn	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
SS7	1,1	0,07	6,7	1,5	0	0	0	310	0,91	0
SS13	1,4	0,069	47	4,8	28	0,15	48	120	3,4	0,18
SS22	0,66	0,049	27	1,3	40	0,047	29	0	0,82	0,1
SS29	0,55	0,059	13	1,5	35	0,12	60	0	0,72	0,1

5. TULOSTEN TARKASTELU

5.1 Taustamuuttujien vaikutus ja muuttujien välinen riippuvuus

Taustamuuttujat ovat muuttujia, jotka eivät kuvaa ilmanlaatua, mutta saattavat vaikuttaa ilmanlaadusta kertoviin muuttujiin. Luokiteltuja taustamuuttujia olivat tutkimuksessa mm. metsikön soveltuvuus kartoitukseen, metsätyyppi ja puuston kehitysluokka.

Tutkimusmetsän soveltuvuudella oli tilastollisesti merkitsevää vaikutusta ainoastaan männyn neulaskatoon. Neulaskato oli suurempaa hyvin soveltuviin kuin kohtalaisesti soveltuviin tutkimusmetsissä. Tulos voi johtua siitä, että soveltuvuudeltaan hyvissä tutkimusmetsissä oli mukana myös aloja, joilla puusto oli ikäluokaltaan vanhaa ja siitä johtuen myös harsuuntuminen suurempaa.

Metsätypillä oli tilastollisesti merkitsevää vaikutusta lajimäärään, ilmanpuhtausindeksiin ja leväpeitteeseen. Kuivan (CT) ja kuivahkon (VT) kankaan metsissä oli keskimäärin enemmän lajeja ja vähemmän leväpeitettä kuin mustikkatyyppin (MT) metsissä. Ilmanpuhtausindeksi oli myös parempi kuivemmissä metsätyypeissä. Tuoreen kankaan metsiä esiintyy tutkimusalueella erityisesti kuormitetuilla taajama-alueilla, millä on todennäköisesti vaikutusta lajilukumäärään ja sitä kautta myös ilmanpuhtausindeksiin. Leväpeitettä esiintyi eniten muu-luokkaan kuuluvissa puistomaisissa metsissä ja tuoreen kankaan metsissä.

Tutkimusmetsän kehitysluokalla oli tilastollisesti merkitsevää vaikutusta yleiseen vaurioasteeseen ja lajimäärään. Jäkälän yleinen vaurioaste oli pienempi kehitysluokaltaan varttuneissa metsissä kuin kehitysluokaltaan kypsissä metsissä. Kehitysluokaltaan kypsiä metsiä kasvoi erityisesti taajama-alueilla, jotka ovat osin kuormitetuimpia alueita tutkimusalueella.

Taulukko 21. Taustamuuttujien suhteen tarkasteltujen ilmanlaatua kuvaavien muuttujien tilastollisten analyysien testisuureet ja niiden merkitsevyydet (p). Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella tähdellä (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella tähdellä (***).

Tarkasteltu muuttuja	Soveltuvuus		Metsätyyppi		Kehitysluokka	
	Kruskal-Wallis		Kruskal-Wallis		Kruskal-Wallis	
	testisuure	p	testisuure	p	testisuure	p
Neulasvuosikerrat	827,0	0,685	5,102	0,164	935,0	0,375
Neulaskato	1256,0	0,001 ***	4,867	0,182	1119,5	0,591
Värivikaisuus	767,5	0,363	3,239	0,356	1175,0	0,334
Sormipaisukarpeen vaurioaste	866,5	0,942	7,770	0,051	1233,5	0,155
Yleinen vaurioaste	777,0	0,403	7,102	0,069	1348,0	0,020 *
Lajimäärä	1028,0	0,183	11,966	0,008 **	1298,0	0,049 *
Ilmanpuhtausindeksi	1078,5	0,085	15,464	0,001 ***	1401,0	0,007 **
Sormipaisukarpeen peittävyys %	758,5	0,325	3,406	0,333	900,0	0,247
Sormipaisukarpeen peittävyys frekv.	751,0	0,295	3,705	0,295	901,0	0,250
Levän peittävyys %	726,0	0,065	12,221	0,007 **	1073,0	0,795
N, g / kg	845,5	0,800	4,218	0,239	1208,0	0,215
S, mg / kg	856,5	0,876	2,907	0,406	1199,0	0,250

Muuttujien välisiä riippuvaisuuksia tarkasteltiin Spearmanin järjestyskorrelaatioiden avulla (Taulukko 22). Yli 0,3 positiivisia korrelaatioita havaittiin puiden läpimitan ja IAP-indeksin välillä, yleisen vaurioasteen ja sormipaisukarpeen vaurioasteen välillä, lajilukumäärän ja IAP-indeksin välillä. Edellä mainituista odotettuja olivat lajilukumäärän ja IAP-indeksin sekä eri vaurioasteiden liittyminen toisiinsa. Runkojäkälien IAP-indeksi oli puolestaan sitä suurempi mitä suurempi oli puun läpimitta. Puuston läpimitan kasvaessa myös metsän rakenne muuttuu ja varjostavan aluspuuston määrä todennäköisesti vähenee, jolloin runkojäkälien kasvuolosuhteet paranevat.

Negatiivisia alle -0,3 korrelaatioita laskettiin neulaskadon ja neulasvuosikertojen välille. Puuston harsuuntuneisuuden lisääntyessä neulasvuosikertojen määrä tyypillisesti vähenee. Sormipaisukarpeen vaurioaste ja yleinen vaurioaste korreloivat negatiivisesti sormipaisukarpeen peittävyys kanssa. Eli mitä suurempi oli sormipaisukarpeen vaurio, sitä pienempi oli sormipaisukarpeen peittävyys. Sormipaisukarve reagoi ilman epäpuhtauksiin näin ollen sekä morfologisina muutoksina että runsauden muutoksena.

Taulukko 22. Muuttujien väliset Spearmanin korrelaatiokertoimet. Alle 0,3:n korrelaatiota ei yleisesti katsota merkitykselliseksi.

	Pohja- pinta- ala	Pi- tuus	Ikä	Läpimit- ta	Vuosi- kerrat	Neulas- kato	Värvika	Sormip vaur	Ylein vaur	Lajilkm	IAP	Sormip peitt	Sormip pis.f	N, g/kg	S, mg/kg
Pohjajapi- ta-ala	1														
Pituus	0,031	1													
Ikä	0,136	0,223	1												
Läpimitta	0,048	0,427	0,476	1											
Vuosiker- rat	0,102	0,027	0,060	-0,047	1										
Neulaskat o	0,213	0,040	0,078	-0,072	-0,474	1									
Värvika	0,103	0,248	0,072	0,203	0,032	-0,026	1								
Sormip vaur	0,065	0,170	0,089	0,138	-0,136	0,015	0,201	1							
Ylein vaur	0,051	0,117	0,126	0,127	-0,110	-0,081	0,160	0,511	1						
Lajilkm	0,130	0,103	0,211	0,211	0,093	-0,005	0,172	-0,130	0,009	1					
IAP	0,185	0,154	0,271	0,315	0,064	0,004	0,229	-0,107	0,028	0,885	1				
Sormip peitt	0,080	-0,113	-0,151	-0,199	0,186	0,104	-0,102	-0,430	-0,358	-0,032	-0,128	1			
Sormip pist.f	0,074	-0,117	-0,165	-0,204	0,208	0,107	0,052	-0,445	-0,422	-0,055	-0,114	0,895	1		
N, g/kg	-0,059	0,066	0,164	0,165	0,077	-0,005	0,067	-0,052	0,139	0,022	0,051	0,005	0,044	1	
S, mg/kg	-0,160	0,128	0,099	0,201	-0,079	-0,063	0,067	0,214	0,186	-0,130	-0,095	-0,085	-0,068	0,327	1
Levä peitt	0,050	-0,076	-0,065	0,055	0,042	-0,085	-0,019	0,256	0,252	-0,017	-0,002	-0,170	-0,256	-0,121	0,101

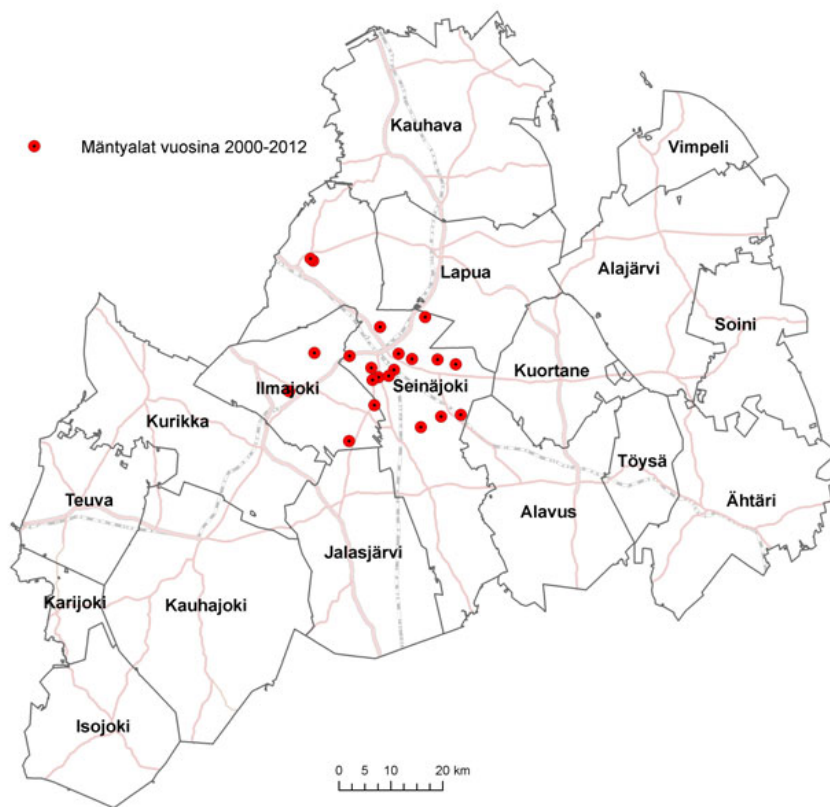
Neulasten alkuainepitoisuuksissa todettiin positiivisia korrelaatioita kalsiumin ja kadmiumin, fosforin ja kaliumin, kuparin ja kaliumin, kuparin ja fosforin, nikkelin ja fosforin, raudan ja kromin, raudan ja kuparin kesken. Myös rikillä ja typellä todettiin olevan keskinäinen riippuvuus; näillä alkuaineilla saattaa olla yhteisiä päästölähteitä.

Taulukko 23. Neulasten alkuainepitoisuuksien väliset Spearmanin korrelaatiokertoimet. Alle 0,3:n korrelaatiota ei yleisesti katsota merkitykselliseksi.

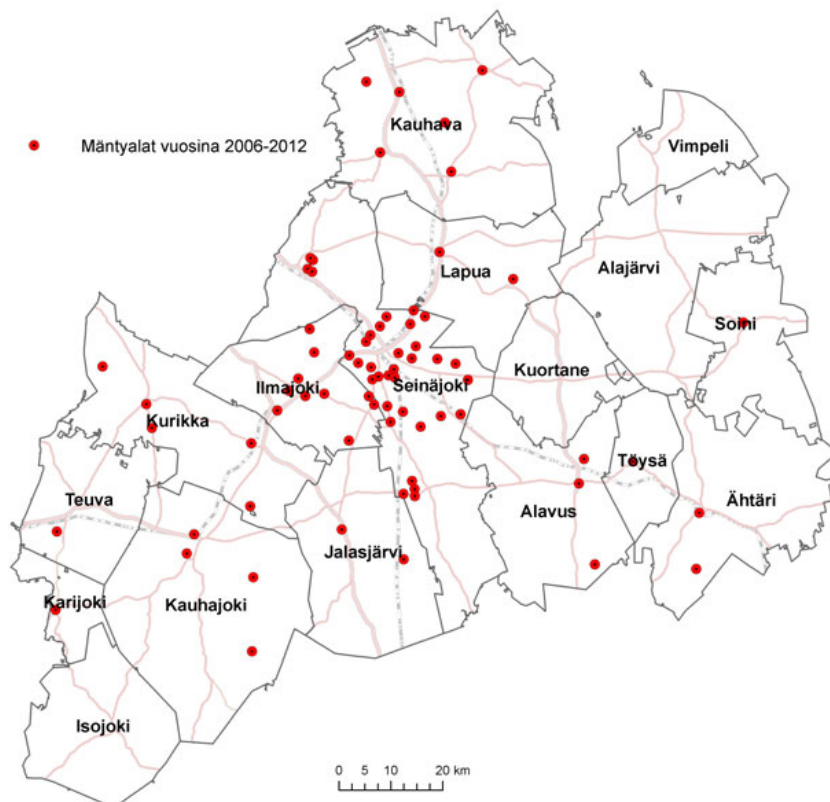
	Neulas- vuosi- kerrat	Neulas- kato	N g /kg	B mg /kg	Cd mg /kg	K mg /kg	Ca mg /kg	P mg /kg	Cr mg /kg	Cu mg /kg	Mg mg /kg	Mn mg /kg	N mg /kg	Fe mg /kg	S mg /kg	Zn mg /kg
Neulas vsk	1															
Neulas- kato	-0,474	1														
N, g/kg	0,077	-0,005	1													
B, mg/kg	-0,012	-0,082	0,105	1												
Cd, mg/kg	0,072	-0,299	0,064	0,080	1											
K, mg/kg	-0,100	0,044	0,085	0,208	0,152	1										
Ca, mg/kg	-0,017	-0,196	0,005	0,132	0,631	0,075	1									
P, mg/kg	-0,094	-0,098	0,165	0,040	0,361	0,512	0,466	1								
Cr, mg/kg	-0,050	0,035	0,041	0,279	0,171	0,330	0,072	0,159	1							
Cu, mg/kg	-0,118	-0,032	0,249	0,196	0,220	0,538	0,327	0,590	0,418	1						
Mg, mg/kg	-0,213	0,005	0,257	0,298	0,146	0,018	0,387	0,090	0,088	0,132	1					
Mn, mg/kg	-0,023	-0,145	0,105	0,011	0,401	-0,118	0,324	-0,068	-0,122	0,016	-0,054	1				
Ni, mg/kg	-0,157	0,027	0,076	0,013	0,352	0,433	0,354	0,550	0,488	0,474	0,152	0,038	1			
Fe, mg/kg	-0,170	0,045	0,026	0,384	0,267	0,356	0,338	0,372	0,704	0,538	0,233	-0,070	0,512	1		
S, mg/kg	-0,079	-0,063	0,327	0,071	0,127	0,193	0,335	0,374	0,017	0,408	0,109	0,012	0,069	0,232	1	
Zn, mg/kg	-0,074	-0,102	0,084	0,336	0,492	0,063	0,560	0,031	0,073	0,171	0,380	0,285	0,045	0,286	0,110	1

5.2 Vertailu alueella aiemmin laadittuihin tutkimuksiin

Tässä luvussa vertaillaan vuoden 2012 tuloksia alueella aiemmin laadittujen bioindikaattoritutkimusten tuloksiin. Vuosina 1990, 1995 ja 2000 tutkimus toteutettiin Seinäjoen, Nurmon, Ilmajoen ja Ylistaron alueilla, minkä vuoksi vertailu näiltä osin koskee vain kyseisillä alueilla sijaitsevia havaintoaloja. Verrattaessa tutkimusvuoteen 2006–2007 ei tässä tutkimuksessa havaintoaloja sijoitettu Lappajärven tai Evijärven kuntien alueelle. Tutkimusalue on puolestaan laajentunut Vimpe- lin, Alajärven ja Isojoen kuntien osalta. Lisäksi tässä tutkimuksessa ovat mukana Teuvan ja Kari- joen alueilla sijaitsevat havaintoalat, jotka kuuluivat vuonna 2006–2007 Suupohjan alueella to- teutettuun bioindikaattoriselvitykseen. Jurvan kunta oli mukana Vaasan seudulla vuonna 2006– 2007 toteutetussa selvityksessä, mutta kuntaliitoksen myötä mukana tässä tutkimuksessa osana Kurikkaa. Vertailussa on pääsääntöisesti huomioitu vuosien varrella samoina pysyneet havainto- alat.



Kuva 5-1. Vuosien 2000, 2006–2007 ja 2012 harsuuntumistutkimuksessa samoina pysyneet mäntyhavaintoalat, n=21.



Kuva 5-2. Vuosien 2006–2007 ja 2012 tutkimuksissa samoina pysyneet mäntyhavaintoalat, n=73.

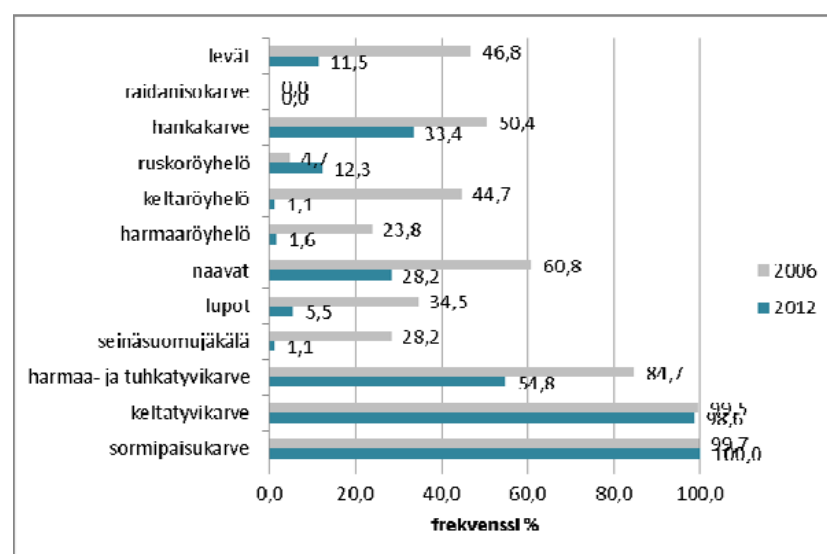
5.3 Jäkäläkartoitus

Ilmanpuhtausindeksi heikkeni vuosien 2006 ja 2012 tutkimusajankohtien välillä keskimäärin 0,8 yksikköä kun otetaan huomioon samoina pysyneet mäntyhavaintoalat (73 alaa). Vuonna 2006 jäkälälajisto luokiteltiin indeksin perusteella lievästi muuttuneeksi (luokka 2–3), kun taas vuonna 2012 lajisto oli keskimäärin köyhtynyt. Muutos on tapahtunut tasaisesti koko tutkimusalueella, mutta erityisesti Seinäjoen ja Ilmajoen havaintoaloilla (Kuva 5-4). Vuonna 2006 keskimääräinen lajilukumäärä havaintoalalla oli 6,4 lajia, kun se vuonna 2012 oli 4,4 lajia. Lajilukumäärän alenemiseen vaikuttaa mm. harmaa- ja keltaröyhelön, harmaa- ja tuhkatyvikarpeen sekä hankakarpeen puuttuminen suurelta osalta havaintoalueista. Myös epäpuhtauksille alttiita naavoja ja luppoja havaittiin suppeammin kuin vuonna 2006. Ilman epäpuhtauksista hyötyvien seinäsuomujäkälän ja levän runsaus oli sen sijaan vähentynyt tutkimusajankohtien välillä huomattavasti. Mäntymetsien yleisimpien lajien, sormipaisukarpeen ja keltatyvikarpeen, runsaus oli säilynyt entisellään. Sormipaisukarpeen arvioitiin olevan kuitenkin keskimäärin enemmän vaurioitunutta kuin vuonna 2006 (lievästi vaurioitunut). Muutos tältä osin on tapahtunut myös tasaisesti tutkimusalueella, mutta osa Seinäjoen taajama-alueen ja Ilmajoen lievän vaurion havaintoaloista oli heikentynyt pahan vaurion aloiksi. Jäkälälajiston yleinen vaurioaste oli sen sijaan hieman vähentynyt tutkimusajankohtien välillä.

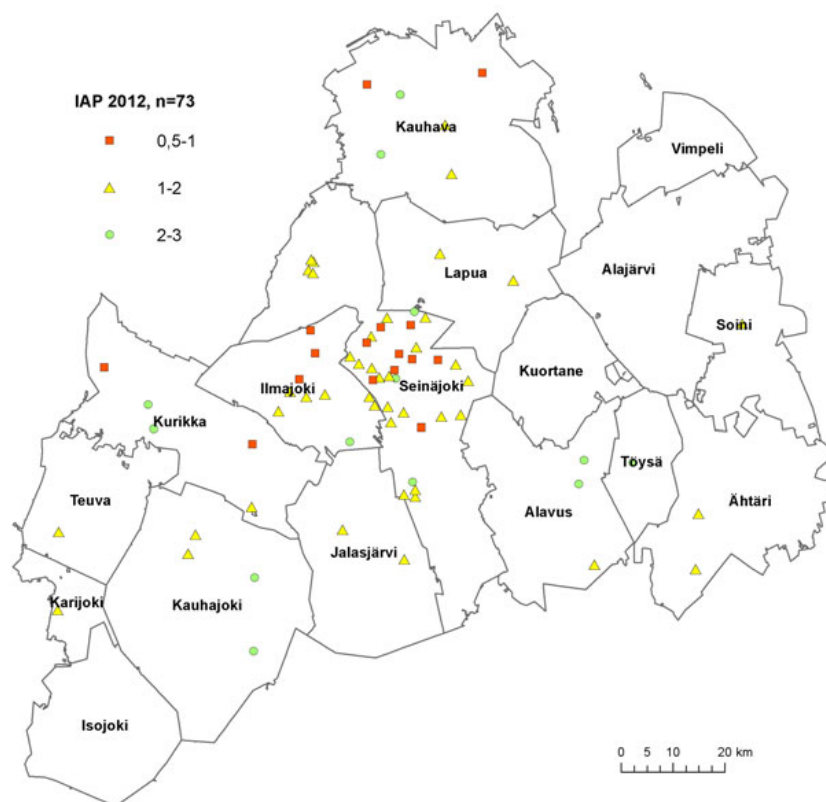
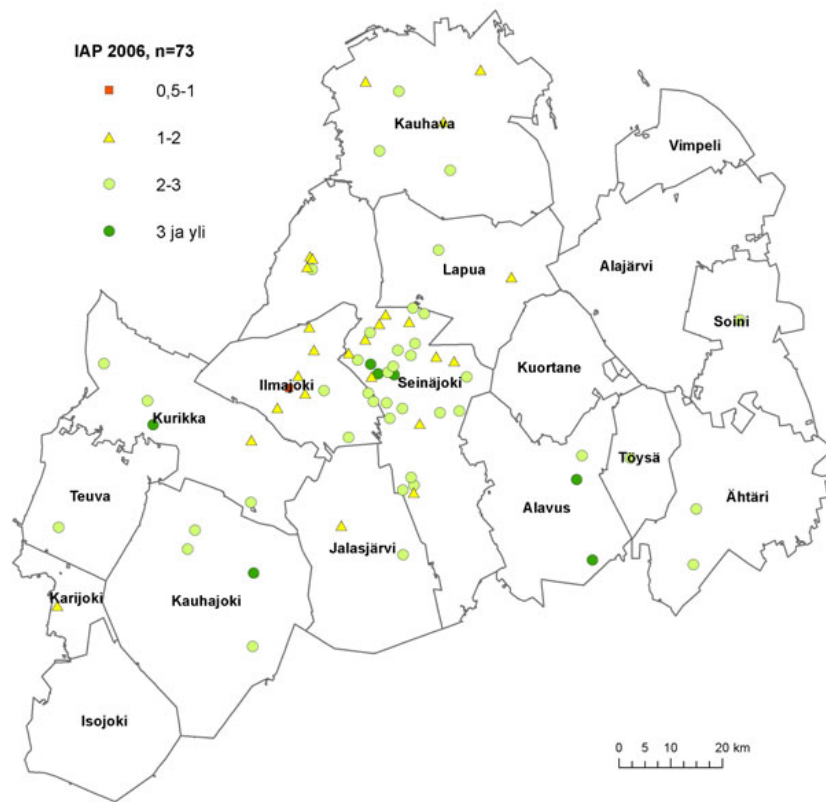
Taulukko 24. Männyn runkojäkälän ilmanpuhtausindeksi ja muita tunnuslukuja tutkimusvuosilta 2006 (Laita ym. 2008a) ja 2012. Lajimäärän laskennassa ei ole huomioitu levää ja seinäsuomujäkälää. N=73, samoina pysyneet havaintoalat.

2006	keskiarvo	pienin	suurin	keskihajonta
Ilmanpuhtausindeksi	2,2	0,8	3,5	0,6
Lajimäärä / havaintoala	6,4	3,0	9,0	1,5
Yleinen vaurioaste	2,6	1,0	4,2	0,7
Sormipaisukarpeen vaurioaste	2,0	1,0	3,7	0,6
Sormipaisukarpeen peittävyys, lk	3,0	2,4	3,0	0,07

2012	keskiarvo	pienin	suurin	keskihajonta
Ilmanpuhtausindeksi	1,4	0,5	2,7	0,5
Lajimäärä / havaintoala	4,4	2,0	7,0	1,4
Yleinen vaurioaste	2,0	1,0	3,2	0,5
Sormipaisukarpeen vaurioaste	2,7	1,4	4,4	0,7
Sormipaisukarpeen peittävyys, lk	3,0	2,8	3,0	0,03

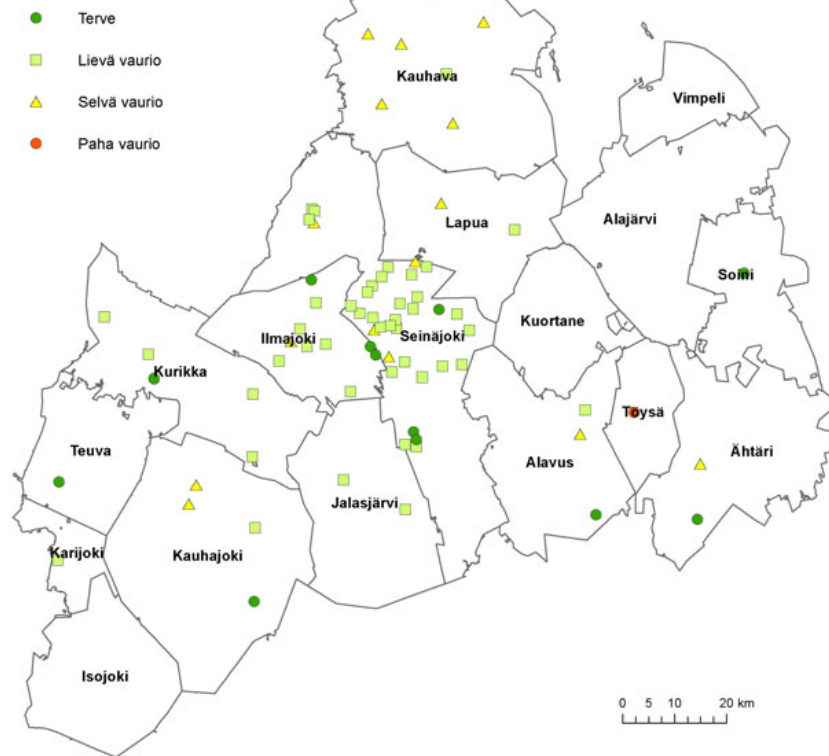


Kuva 5-3. Männyn runkojäkälän esiintymistiheys tutkimusalueella vuosina 2006 (Laita ym. 2008a) ja 2012, n=365.

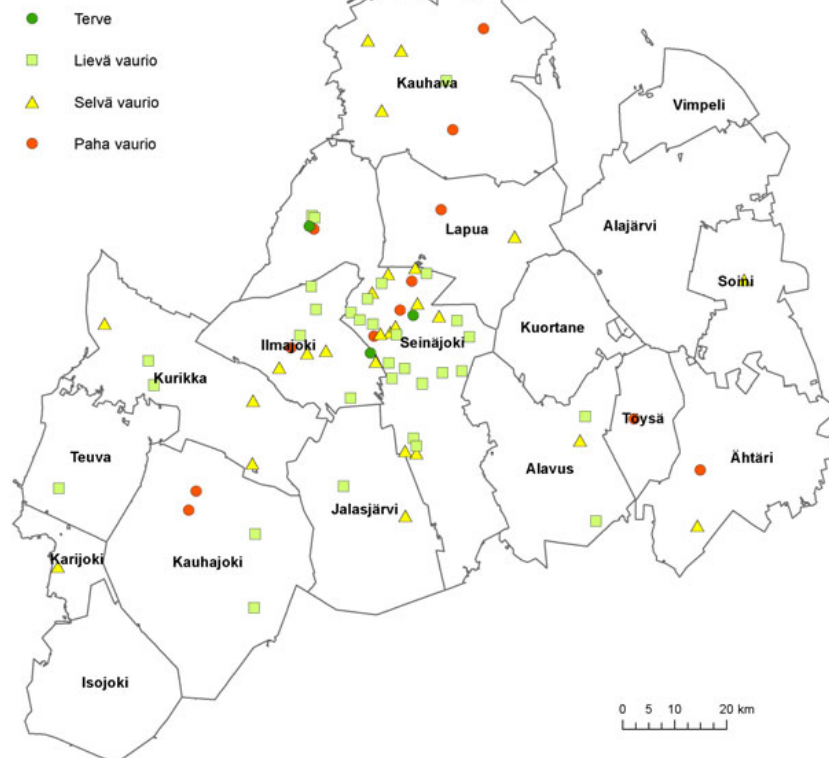


Kuva 5-4. IAP-indeksi tutkimusalueella vuosina 2006 (Laita ym. 2008a) ja 2012 samoina pysyneillä havaintoaloilla (n=73).

Sormipaisukarpeen vaurioaste 2006



Sormipaisukarpeen vaurioaste 2012



Kuva 5-5. Sormipaisukarpeen vaurioaste tutkimusalueella vuosina 2006 (Laita ym. 2008a) ja 2012 sa-moina pysyneillä havaintoaloilla (n=73).

5.4 Männyn neulaskato

Männyn neulasto on arvioitu vuosina 1990 ja 1995 vaurioluokittain, minkä johdosta tuoreiden tulojen vertaaminen niihin on hankalaa. Tästä johtuen vertailu ulotettiin tutkimusvuosiin 2000, 2006 ja 2012. Vuosien 2000–2012 aikana samoina säilyneitä havaintoaloja oli yhteensä 21 alaa. Havaintoalat sijoittuivat Seinäjoen taajama-alueelle, sekä Ilmajoen ja Ylistaron keskuksiin. Vuonna 2000 samoina pysyneiden havaintoalojen osalta puiden keskimääräiseksi harsuuntuneisuudeksi arvioitiin 18,9 %. Vuonna 2006 harsuuntuneisuuden keskiarvo oli laskenut 14,3 %:iin ja vuonna 2012 edelleen 13,8 prosenttiin. Alakohtaisia keskimääräisiä lukuja verrattaessa vuonna 2000 harsuuntuneiksi (>20 %) arvioitiin 52 % puista (11 havaintoalaa). Vuonna 2006 harsuuntuneiksi arvioitiin 4,7 % puista (yksi havaintoala) ja edelleen vuonna 2012 9,5 % puista (kaksi havaintoalaa). Muutos vuosien 2000–2006 välillä on huomattava, vuoden 2006 jälkeen samoina pysyneiden havaintoalojen suhteen ei ole tapahtunut selviä muutoksia. Tutkimusvuosien 2006–2012 aikana harsuuntuneimmaksi, ja vuonna 2000 toiseksi harsuuntuneimmaksi, alaksi luokiteltu havaintoala sijaitsee Seinäjoelle Kalliokoskentien varressa tausta-alueella, joten tältä osin harsuuntuneisuuteen vaikuttavat todennäköisesti ensisijaisesti kasvupaikkaolosuhteet.

Taulukko 25. Männyn harsuuntuminen tutkimusalueella 2000–2012. Vuoden 2000 harsuuntumistutkimus on tehty 5 %:n luokkavälein, n=21.

Vuosi	keskiarvo	pienin	suurin	keskihajonta
2000	18,9	6,5	29	5,6
2006	14,3	5,2	24,4	3,8
2012	13,8	7,0	25,5	4,7

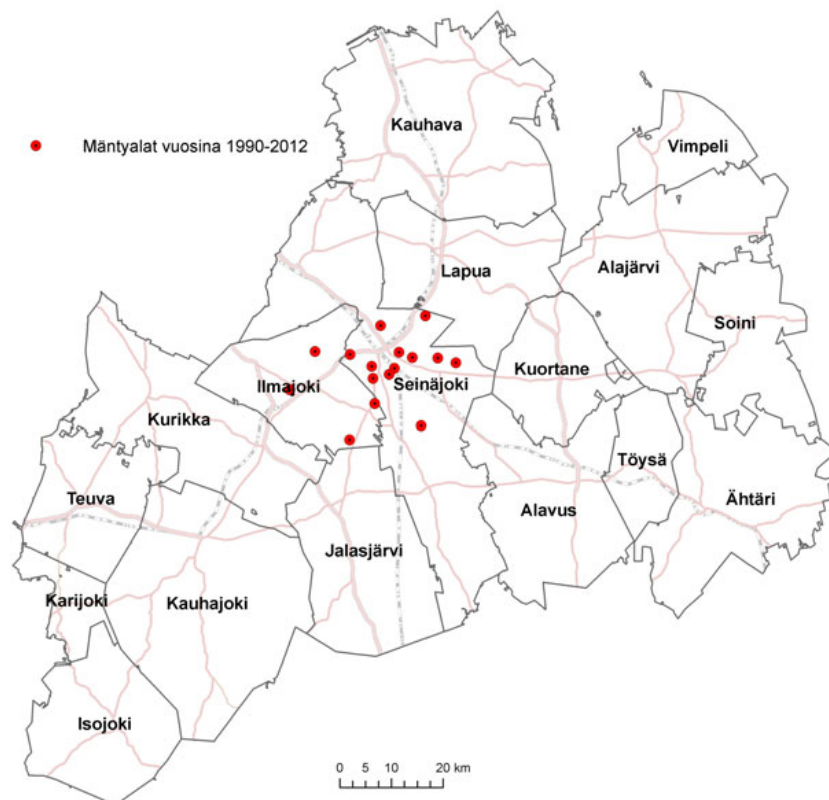
Vuosien 2006–2012 tutkimusten vertailussa 73 mäntyhavaintoalaa oli säilynyt samana. Keskimääräinen neulaskadon määrä oli pienentynyt hieman, 0,9 prosenttiyksikköä. Keskimääräisiä neulaskadon määriä tarkasteltaessa vuonna 2006 ainoastaan yhdellä havaintoalalla kasvaneet puut arvioitiin harsuuntuneiksi. Vuonna 2012 yli 20 % harsuuntuneiksi katsottiin neljällä havaintoalalla kasvaneet puut. Vuonna 2006 keskimääräiseksi neulasvuosikertojen määräksi arvioitiin 3,4, vuonna 2012 kolme.

Taulukko 26. Männyn harsuuntuminen tutkimusalueella vuosina 2006–2012 samoina pysyneillä havaintoaloilla, n=73.

Vuosi	Keskiarvo	Pienin	Suurin	Keskihajonta	Neulasvuosikerta
2006	14,2	5,2	24,4	3,0	3,4
2012	13,1	5,0	25,5	4,0	3

5.5 Neulasten alkuainepitoisuudet

Taulukossa 27 on esitetty neulasnäytteiden alkuainepitoisuuksia eri ajankohtina tutkimusalueella. Vertailussa on käytetty samoina pysyneitä mäntyhavaintoalueita (16 havaintoalaa). Vuonna 2000 neulasanalyysit on laadittu neulasten ensimmäisestä vuosikerrasta.



Kuva 5-6. Vuosien 1990, 1995, 2000, 2007 ja 2012 neulasten alkuainepitoisuustutkimuksessa samoina pysyneet mäntyhavaintoalat. N=16.

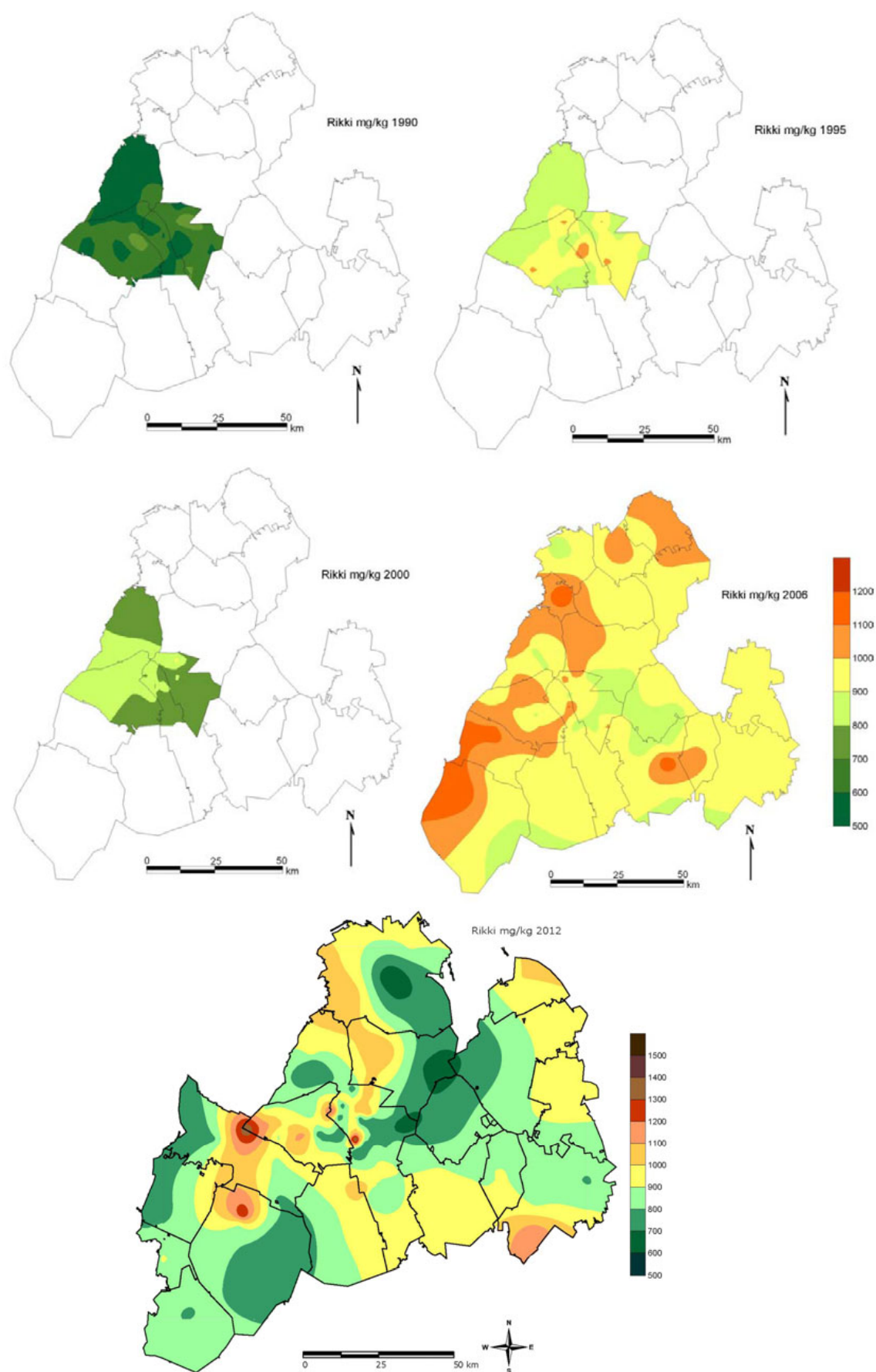
Neulasten rikkipitoisuudet olivat vuonna 2012 hieman alhaisemmat kuin edellisellä tutkimuskeralla vuonna 2007. Pitoisuudet olivat säilyneet 813–985 mg/kg tasolla vuodesta 1995 lähtien, vuonna 1990 pitoisuudet olivat alhaisemmat, tasolla 625 mg/kg.

Magnesium-, mangaani-, kupari- ja rautapitoisuudet ovat vuonna 2012 korkeampia kuin yhtenä-kään aikaisempina tutkimusvuonna. Raudan osalta pitoisuudet ovat kaksinkertaistuneet vuoteen 2000 verrattuna.

Taulukko 27. Neulasten alkuainepitoisuuksia tutkimusalueella vuosina 1990, 1995, 2000, 2007 ja 2012. Vuonna 2000 neulasten alkuainepitoisuudet on määritetty neulasten nuorimmasta vuosikerrasta. N=16, tutkimusajankohtina samana pysyneet havaintoalat. Vuonna 2000 n=10.

	N	S	Ca	Mg	K	Mn	B	Cd	P	Cr	Cu	Ni	Fe	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
1990, n=16														
keskiarvo		625												
pienin		500												
suurin		700												
keskihajonta		68												
1995, n=16														
keskiarvo		925	2 300	0,9	5 600	330	8,3		1 376		2,8			34,3
pienin		791	1 700	700	4 800	175	3,0		1 220		2,1			23,4
suurin		1230	3 200	1 200	6 600	533	11,0		1 590		3,9			48,3
keskihajonta		101	500	100	500	101	2,3		94,2		0,5			6,6
2000, n=10														
keskiarvo	13,4	814	1 900	1 000	5 300	322	14,3	0,1	1 400	0,3	2,6	1,1	45,0	38,6
pienin	12,2	723	1 600	900	4 800	206	10,3	0,1	1 300	0,2	2,3	0,7	30,9	26,8
suurin	14,4	911	2 200	1 100	5 600	490	19,3	0,1	1 600	0,6	3,1	1,6	72,9	48,8
keskihajonta	0,9	55,7	200	100	300	83,4	2,8	0,0	100	0,1	0,3	0,3	15,3	5,6
2006, n=16														
keskiarvo	15,7	986	3 372	867	4 529	387	14,6	0,1	1 501	0,1	2,3	0,4	71,9	41,7
pienin	12,4	824	2 789	691	3 747	244	9,0	0,1	1 318	0,0	1,8	0,3	39,0	28,0
suurin	18,7	1178	4 102	1 086	5 101	621	22,0	0,1	1 724	0,8	2,9	0,7	155	56,0
keskihajonta	1,7	90,7	414	108	331	123	3,8	0,0	111	0,2	0,3	0,1	30,4	7,6
2012, n=16														
keskiarvo	11,3	933	3 525	913	5 238	430	14,6	0,1	1 431	0,2	3,3	0,5	107	47,1
pienin	8,2	670	2 100	720	4 500	220	7,0	0,0	1 300	0,1	2,8	0,3	60,0	22,0
suurin	13,0	1 300	5 000	1100	7 000	980	22,0	0,1	1 600	0,8	4,0	1,3	200	72,0
keskihajonta	1,3	158	881	107	630	216	4,6	0,0	108	0,2	0,4	0,3	47	13,4

Neulasten rikki- ja alkuainepitoisuuksista eri tutkimusajankohtina laaditut vyöhykekartat on esitetty oheisessa kuvassa (Kuva 5-7). Vyöhykekartoissa on käytetty kaikkia havaintoaloja. Rikki- ja alkuainepitoisuudet ovat pysyneet melko vakaalla tasolla vuodesta 1995 lähtien. Verrattaessa vuoden 2006 ja 2012 tilannetta, korostuu tutkimusalueella korkean rikki- ja alkuainepitoisuuden vyöhykkeinä Ilmajoen ja Kurikan seutu, sekä Kauhajoen ja Seinäjoen taajama-alueet. Kauhavan, Lapuan, Kuortaneen ja Alajärven seuduilla oli sen sijaan havaittavissa alhaisemman rikki- ja alkuainepitoisuuden vyöhyke.



Kuva 5-7. Neulasten rikkipitoisuus vuosina 1990, 1995, 2000, 2006 ja 2012. Kuvat vuosilta 1990-2006 Laita ym. 2008a.

5.6 Sammalten alkuainepitoisuudet

Sammalten alkuainepitoisuuksia eri tutkimusvuosina on esitetty oheisessa taulukossa. Vertailussa on käytetty kaikkia tutkimusaloja. Vuonna 2006 ja 2012 pitoisuudet analysoitiin seinäsammalesta. Aikaisempina tutkimusvuosina analyysiin on käytetty myös kerrossammalta.

Suurin osa tutkittujen alkuaineiden pitoisuuksista (Al, Hg, Cd, Cu, Pb, Fe, S, Zn ja V) oli laskenut vuonna 2012 verrattaessa aikaisempiin tutkimusajankohtiin, jolloin kyseisiä alkuaineita on analysoitu. Boorin, kromin, magnesiumin, natriumin ja nikkelin pitoisuudet olivat sitä vastoin suurentuneet verrattaessa aikaisempiin tutkimusajankohtiin. Fosforin, kaliumin, kalsiumin ja mangaanin pitoisuuksissa ei ollut havaittavissa selkeää nousu- tai kasvusuuntaa.

Taulukko 28. Sammalnäytteiden alkuainepitoisuuksia tutkimusalueella vuosina 1989, 1995, 2000, 2006 ja 2012. Vertailuun on käytetty kaikkia havaintoaloja.

	Al	As	B	Hg	P	Cd	K	Ca	Co	Cr
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
2012, n=41										
keskiarvo	285	0,38	5,10	0,03	1 552	0,11	8 739	2 873	0,35	3,56
pienin	72	0,05	1	0,01	660	0,069	5 000	1 800	0,1	0,36
suurin	770	1,6	28	0,09	3 000	0,27	1 500	4 100	0,95	19
keskihajonta	186	0,37	6,16	0,01	426	0,04	2 303	539	0,24	3,63
2006, n=40										
keskiarvo	348		2,26	0,04	1 559	0,13	6 381	2 435		1,18
pienin	149		0,85	0,03	1 177	0,09	4 740	1 817		0,47
suurin	1 140		6,1	0,7	2 477	0,19	8 707	3 139		3,3
keskihajonta	208		1,13	0,01	303	0,028	1 065	337		0,66
2000, n=40										
keskiarvo	403		1,62	0,04	1 380	0,12	5 730	2 284		13,2
pienin	212		0,57	0,02	807	0,08	3 930	1 790		4,5
suurin	1 000		3,83	0,07	2 810	0,25	8 930	318		33,5
keskihajonta	155		0,73	0,01	380	0,03	1 352	327		6,51
1995, n=43										
keskiarvo	590			0,07		0,1				
pienin	214			0,02		0,05				
suurin	1 440			0,13		0,19				
keskihajonta	332			0,02		0,03				
1989, n=43										
keskiarvo	966			0,11		0,21				4,81
pienin	343			0,06		0,11				0,25
suurin	4 250			0,18		0,37				16,7
keskihajonta	742			0,03		0,06				3,04

Taulukko 28. jatkuu.

	Cu	Pb	Mg	Mn	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
	mg / kg	mg / kg	mg / kg	mg / kg	mg / kg	mg / kg	mg / kg	mg / kg	mg / kg	mg / kg
2012, n=41										
keskiarvo	5,8	1,10	1 389	262	89	2,56	439	945	32	1,22
pienin	3,5	0,64	850	93	48	0,11	100	540	21	0,33
suurin	11	7,3	2 400	440	250	12	1 600	2 100	48	4,7
keskihajonta	1,7	1,0	344	82	34	2,38	383	275	7	1,01
2006, n=40										
keskiarvo	6,1	1,8	1 271	292	53,0	2,3	537	1 101	38,0	3,7
pienin	3,8	1,1	927	142	34,0	0,8	188	804	28,0	1,1
suurin	13,0	2,9	1 641	526	83,0	12,0	1 898	1 652	54,0	25,0
keskihajonta	2,2	0,4	193	107	13,0	1,9	421	203	7,2	4,4
2000, n=40										
keskiarvo	6,8	2,3	1 004	234	122	6,3	537	923	35,0	
pienin	3,2	1,5	693	105	74,0	2,3	188	698	27,0	
suurin	48,1	3,7	1 540	455	202	13,8	1 895	1 490	47,0	
keskihajonta	7,4	0,5	2 066	72,0	31,0	2,5	421	153	5,0	
1995, n=43										
keskiarvo		2,4				5,7		1 083		3,7
pienin		1,1				1,3		761		1,0
suurin		4,1				60,0		1 520		8,8
keskihajonta		0,6				12,0		138		1,7
1989, n=43										
keskiarvo		9,6				3,2				6,1
pienin		4,9				1,8				2,4
suurin		16,1				6,5				15,9
keskihajonta		2,9				1,0				2,5

5.7 Sammalpalojen alkuainepitoisuudet

Sammalpalojen alkuainepitoisuudet olivat osin sekä suurentuneet että pienentyneet tutkimusvuosien 2006-2012 välillä. Nurmon taajaman koillispuolella sijaitsevalla havaintoalalla SS7 olivat alumiinin, kaliumin, kalsiumin, kromin, magnesiumin ja raudan pitoisuudet vähentyneet selvästi. Kuparipitoisuus oli puolestaan kasvanut selvästi.

Kapernaumin teollisuusalueen läheisyydessä sijaitsevalla havaintoalalla SS13 olivat pitoisuudet pääosin säilyneet vastaavalla tasolla kuin vuonna 2006. Kalsium- ja kuparipitoisuudet olivat suurentuneet tutkimusajankohtien välillä.

Kyrkösjärven itäpuolella sijaitsevalla havaintoalalla SS22 olivat useat alkuaineiden pitoisuudet säilyneet vastaavalla tasolla kuin vuonna 2006. Alumiini- ja kuparipitoisuus, sekä rautapitoisuus olivat suurentuneet hieman.

Seinäjoen lentokentän läheisyydessä sijaitsevalla havaintoalalla SS29 olivat alumiinin, arseenin, kuparin ja raudan pitoisuudet suurentuneet tutkimusajankohtien välillä. Kaliumin, kalsiumin, koboltin ja magnesiumin pitoisuudet olivat sitä vastoin suurentuneet.

Taulukko 29. Sammalpallojen alkuainepitoisuudet (mg/kg/30d) vuosina 2012 ja 2006 (Laita ym. 2008a) n=4. Sammalpalloihin kertyneiden pitoisuuksien ollessa pienempiä kuin näytepallojen pitoisuudet on pitoisuudeksi merkitty taulukkoon 0.

Havaintoala	Al	As	B	Hg	P	Cd	K	Ca	Co	Cr
Vuosi 2012, SS7	0	0	0	0,003	0	0,0048	44	25	0	0
Vuosi 2006, SS7	28,5	0,0082	0,098	0,0032		0,0059	169	115	0,12	0,18
Vuosi 2012, SS13	36	0,08	0	0	0	0,028	58	130	0,056	0,063
Vuosi 2006, SS13	31,1	0,0258	0,077	0,0027		0,0041	311	97	0,09	0
Vuosi 2012, SS22	20	0,05	0	0	0	0	62	61	0,022	0
Vuosi 2006, SS22	16,4	0,0131	0,034	0,0023		0,0052	114	73	0,01	0
Vuosi 2012, SS29	39	0,03	0	0	0	0,0054	140	41	0,021	0,067
Vuosi 2006, SS29	11,5	0,0015	0,110	0		0,0047	212	72	0,43	0

Havaintoala	Cu	Pb	Mg	Mn	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
Vuosi 2012, SS7	1,1	0,07	6,7	1,5	0	0	0	310	0,91	0
Vuosi 2006, SS7	0		52				16,9			
Vuosi 2012, SS13	1,4	0,069	47	4,8	28	0,15	48	120	3,4	0,18
Vuosi 2006, SS13	0		53				53,6			
Vuosi 2012, SS22	0,66	0,049	27	1,3	40	0,047	29	0	0,82	0,1
Vuosi 2006, SS22	0		32				21,5			
Vuosi 2012, SS29	0,55	0,059	13	1,5	35	0,12	60	0	0,72	0,1
Vuosi 2006, SS29	0		33				12			

5.8 Vertailu muualla Suomessa tehtyihin tutkimuksiin

Tässä luvussa tarkastellaan muualla Suomessa 2000-luvulla laadittujen bioindikaattoriselvitysten tuloksia Seinäjoen seudulla vuonna 2012 saatuihin tuloksiin. Tulosten tarkastelun monipuolistamiseksi taulukoissa on esitetty myös Seinäjoen seudulla aikaisemmin vuonna 2006–2007 laadittu selvityksen tunnuslukuja.

5.8.1 Mäntyjen harsuuntuneisuus

Tutkimusalueen mäntyjen keskimääräinen harsuuntumisaste vuonna 2012 oli vastaavalla tasolla kuin useissa 2000-luvun puolivälissä laadituissa muissa bioindikaattoriselvityksissä. Metsäntutkimuslaitoksen vuonna 2011 toteuttaman metsien terveydentilan seurannan (717 koealaa) mukaan männyn keskimääräinen harsuuntuneisuus Suomessa oli 14,3 % (Metsätuhotietopalvelu 2011). Pitkän aikavälin (1985–2010) tuloksissa keskimääräinen harsuuntumisaste eteläisessä Suomessa oli 10,6 %. Suurimmat harsuuntumisarvot olivat Pohjanmaalla ja Kainuussa.

Taulukko 30. Mäntyjen keskimääräinen neulaskato ja harsuuntuneeksi (neulaskato >20 %) arvioitujen puiden osuus eri puolilla Suomea tehdyissä tutkimuksissa. Tulokset lähteistä Metsätuhotietopalvelu 2011, Laita ym. 2008a, Laita ym. 2008b, Laita ym. 2008c, Laita ym. 2008c.

Alue	n	Vuosi	Neulaskadon ka, %	Harsuuntuneiden puiden osuus, %
Seinäjoen seutu	939	2012	13	14
Metla 2011	717	2011	14	
Länsi-Suomi	3 968	2006	14	6
Kokkola	1 210	2006	14	7
Suupohja	220	2006	15	3
Vaasa	590	2006	12	6

5.8.2 Männyn runkojäkälät

Keskimääräinen sormipaisukarpeen vaurioaste oli 0,5–0,7 yksikköä heikompi Seinäjoen seudulla vuonna 2012 kuin vertailualueilla. Keskimääräinen ilmanpuhtausindeksi oli vertailualueita 0,6–1,3 yksikköä heikompi.

Taulukko 31. Mäntyjen runkojäkäliä kuvaavia muuttujia Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimuksessa 2012 sekä eri puolilla Suomea toteutetuissa tutkimuksissa. Tulokset lähteistä Lehtonen ym. 2011, Huuskonen ym. 2010, Huuskonen ym. 2009, Laita ym. 2008a, Laita ym. 2008d, Laita ym. 2008e.

Alue	n	Vuosi	Sormipaisukarpeen vaurioaste	IAP
Seinäjoen seutu	95	2012	2,6	1,4
Pohjois-Karjala	300	2010	1,9	2,7
Uusimaa	776	2009	2,1	2,0
Seinäjoen seutu	90	2007	2,0	2,2
Pyhäjärvisseutu	98	2007	2,1	2,3
Suupohja	22	2007	1,9	2,5
Vaasa	59	2007	1,9	1,9
Vakka-Suomi	103	2006	2,1	2,2

5.8.3 Neulasten alkuainepitoisuudet

Neulasten keskimääräiset alkuainepitoisuudet olivat vuonna 2012 alhaisempia typen, boorin, mangaanin ja rikin osalta verrattuna alueella vuonna 2006–2007 laadittuun selvitykseen sekä muihin Suomessa 2000-luvulla laadittuihin edustavissa tutkimuksissa. Useiden ravinteiden sekä kuparin ja raudan pitoisuudet olivat suurentuneet kuitenkin tutkimusajankohtien välillä. Verrattuna kuormitetuilta Pohjois-Karjalan ja Kainuun Talvivaaran alueelta mitattuihin kupari-, nikkeli- ja rikki-pitoisuuksiin, olivat Seinäjoen seudulta vuonna 2012 mitatut pitoisuudet selvästi alhaisempia.

Taulukko 32. Neulasten alkuainepitoisuuksia Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimuksessa 2012 verrattuna alueella vuonna 2007 mitattuihin pitoisuuksiin, sekä muissa eri puolilla Suomea toteutetuissa tutkimuksissa. Tulokset lähteistä Lehtonen ym. 2010, Pöyry 2009, Laita ym. 2008a, Laita ym. 2008b ja Laita ym. 2008d, Laita ym. 2008e.

Alue	n	Vuosi	N g / kg	B mg / kg	Cd mg / kg	K mg / kg	Ca mg / kg	P mg / kg	Cr mg / kg
Seinäjoen seutu	95	2012	11,5	14,6	0,08	5077	3434	1386	0,2
Pohjois-Karjala (kuormitettu)	5	2010							
Kainuu, Talvivaara (kuormitettu)	10	2009							
Länsi-Suomi	398	2007	14,9	16,6	0,12	5 200	3 300	1 500	0,15
Seinäjoen seutu	90	2007	15,2	15,4	0,08	4 697	3 218	1 461	0,13
Suupohja	22	2007	15,1	16,2	0,12	4 396	3 447	1 463	0,14
Vaasa	59	2007	15,3	19,3	0,12	5 254	3 475	1 527	0,16
Vakka-Suomi	103	2007	15,7	19,0		5 077	3 524	1 531	0,095

Alue	n	Vuosi	Cu mg / kg	Mg mg / kg	Mn mg / kg	Ni mg / kg	Fe mg / kg	S mg / kg	Zn mg / kg
Seinäjoen seutu	95	2012	3,05	895	392	0,5	91	898	47
Pohjois-Karjala (kuormitettu)	5	2010						1 065	
Kainuu, Talvivaara (kuormitettu)	10	2009	6,1			3,5			48
Länsi-Suomi	398	2007	2,5	840	490	0,51	75	1 000	51
Seinäjoen seutu	90	2007	2,2	879	413	0,41	68	971	45
Suupohja	22	2007	2,2	892	604	0,52	63	1 011	49
Vaasa	59	2007	2,4	880	519	0,6	74	1 037	51
Vakka-Suomi	103	2007	2,6	887	564	0,47	58	1 088	52

5.8.4 Sammalten alkuainepitoisuudet

Sammalten keskimääräiset alkuainepitoisuudet Seinäjoen ja Ilmajoen alueella olivat valtakunnallista tasoa suurempia arseenin, kromin, kuparin, nikkelin, raudan, sinkin ja vanadiinin osalta. Pitoisuudet olivat selvästi valtakunnallista tasoa suurempia kromin ja raudan osalta. Muut tutkitut alkuaineiden pitoisuudet olivat Seinäjoen seudulla samalla tasolla tai alhaisempia kuin valtakunnallisessa inventoinnissa. Verrattuna Pohjois-Karjalan 100 näytealaa käsittävään havaintoverkkoon olivat kromin, kuparin, magnesiumin ja rikin pitoisuudet suurempia Seinäjoella ja Ilmajoella. Lyijypitoisuudet olivat puolestaan noin puolet alhaisempia Seinäjoella ja Ilmajoella kuin muissa tutkimuksissa mitatut pitoisuudet.

Taulukko 33. Sammalten alkuainepitoisuuksia Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimuksessa 2012 verrattuna alueella vuonna 2007 mitattuihin pitoisuuksiin, sekä muissa eri puolilla Suomea toteutetuissa tutkimuksissa. Tulokset lähteistä Metsäntutkimuslaitos 2012, Lehtonen 2010, Pöyry 2009, Laita ym. 2008a, Huuskonen ym. 2009.

Alue	n	Vuosi	Al	As	B	Hg	P	Cd	K	Ca	Co	Cr
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Seinäjoen seutu	41	2012	285	0,38	5,1	0,03	1 552	0,11	8 739	2 873	0,35	3,56
Metla (koko Suomi)		2010		0,11		0,042		0,12				0,97
Pohjois-Karjala	100	2010		0,16				0,10				1,42
Kainuu Talvivaara (kuormitettu)	20	2009									2,2	
Pyhäjärviseu	28	2007						0,2				0,74
Seinäjoen seutu	40	2007	348	0,48	2,26	0,04	1 559	0,13	6 381	2 435	0,4	1,18

Alue	n	Vuosi	Cu	Pb	Mg	Mn	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Seinäjoen seutu	41	2012	5,76	1,1	1 389	262	89	2,56	439	945	32	1,22
Metla (koko Suomi)		2010	5,03	2,05				2,51	243		31	1,09
Pohjois-Karjala	100	2010	2,2	2,16	1 171			2,5	431	922	38	1,6
Kainuu Talvivaara (kuormitettu)	20	2009	20,9					37,7			103	
Pyhäjärviseu	28	2007	8,6	2,1				2,4	282		43	1,6
Seinäjoen seutu	40	2007	6,1	1,8	1 271	292	53	2,3	537	1101	38	3,7

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Seinäjoen seudulla tutkittiin vuonna 2012 ilman epäpuhtauksien vaikutuksia männyn elinvoimaisuuteen, männyn runkojäkäliin, sekä männyn neulasten ja sammaleen alkuainepitoisuuksiin. Lisäksi tutkittiin epäpuhtauksien kertymistä sammalpallonäytteisiin.

Tutkimusalueen ilman epäpuhtauksien kuormitus on peräisin pääasiassa Seinäjoen ja Ilmajoen alueilla sijaitsevien teollisuuslaitosten päästöistä ja liikenteestä. Tieliikenteen aiheuttamat ty-
penoksidi-, hiukkas- ja rikkidioksidipäästöt ovat vähentyneet alueella 2000-luvun tutkimusjaksolla. Teollisuuslaitosten ilmaan kohdistuvissa päästöissä ei sen sijaan ole nähtävissä selvää trendiä, vaan kehitys on ollut lähinnä aaltomaista.

Tutkituissa bioindikaattorimuuttujissa oli nähtävissä sekä myönteisiä että kielteisiä kehityssuuntia. Runkojäkälien osalta korostuivat Seinäjoen ja Ilmajoen taajama-alue, jossa indikaattoriarvot olivat heikentyneet eniten suhteessa koko tutkimusalueeseen ja edelliseen tutkimusajankohtaan verrattuna. Toisaalta ilman epäpuhtauksista hyötyvien levän ja seinänsuomujäkälän määrä oli vähentynyt tutkimusajankohtien välillä. Mäntymetsien yleisimpien jäkälälajien runsaudet olivat säilyneet entisellään. Muutosta runkojäkälän osalta heikkenevään suuntaan tukee kuitenkin se, että sormipaisukarpeen arvioitiin olevan enemmän vaurioitunutta varsinkin Seinäjoen ja Ilmajoen alueilla kuin edellisellä tutkimuskerralla. Rikkipäästöissä ei ole tapahtunut merkittävää vähentymistä tarkastelujaksolla, mikä saattaakin selittää jäkälistön osittaista taantumista. Tutkimusalueen lajirikkaimmat ja vähiten lajistoltaan vaurioituneet alueet sijoittuivat sen eteläosiin Isojoelle, Kauhajoelle, Alavudelle ja Ähtäriin kuten myös edellisenä tutkimusajankohtana.

Neulasten rikkipitoisuus on säilynyt tutkimusalueella keskimäärin melko vakaalla tasolla vuodesta 1995 lähtien. Vuonna 2012 pitoisuus oli hieman alhaisempi kuin edellisellä tutkimuskerralla ja pitoisuutta voidaan pitää eteläiselle Suomelle tyypillisenä. Verrattaessa aiempiin tutkimusvuosiin korostuu neulasten rikkipitoisuuksissa Ilmajoen ja Kurikan seutu, sekä Kauhajoen ja Seinäjoen taajama-alueet. Kauhavan, Lapuan, Kuortaneen ja Alajärven seuduilla on sen sijaan havaittavissa alhaisemman pitoisuuden vyöhyke. Koko tutkimusaluetta tarkasteltaessa neulasten mangaanin, magnesiumin, kuparin ja raudan osalta pitoisuudet olivat jatkaneet kasvuaan edellisiin tutkimusvuosiin nähden. Edellä mainituista raudan pitoisuudet olivat kaksinkertaistuneet vuoteen 2000 verrattuna.

Mäntyjen keskimääräinen harsuuntuneisuus oli säilynyt vastaavalla tasolla kuin vuonna 2006–2007 ja oli valtakunnallisesti keskimääräistä tasoa. Yli puolella männystä neulaskadon määrä oli vähäistä. Harsuuntuneiksi arvioituneiden puiden määrä oli kuitenkin hieman kasvanut verrattuna edelliseen tutkimusajankohtaan.

Sammalnäytteissä oli havaittavissa paikallisten päästölähteiden vaikutus useiden tutkittujen alkuaineiden osalta. Suurimmat pitoisuudet mitattiin Seinäjoen Kapernaumin teollisuusalueen ja Nurmon taajama-alueen koillispuolella. Keskimääräiset alumiini-, elohopea-, kadmium-, kupari-, lyijy-, rauta-, rikki- ja vanadiinipitoisuudet olivat vähentyneet, kun taas boorin, kromin, magnesiumin, natriumin ja nikkelin pitoisuudet olivat kasvaneet aiempiin tutkimusajankohtiin verrattuna.

LÄHTEET

- Anttonen, T. (1990). Laskeuman ravinteiden vaikutus sormipaisukarvejäkälän (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.) kasvuun. Kuopion yliopisto, ekologisen ympäristöhygienian laitos. Opinnäytetutkielma.
- FCG Oy (2011). Seinäjoen seudun ilmapäästöjen leviämismalli vuonna 2010.
- Huuskonen, I., Lehtonen, E. ja Ellonen, T. (2009). Pyhäjärvisuudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2007-2008. Ympäristötutkimuskeskuksen tiedonantoja 175. Jyväskylän yliopisto.
- Huuskonen, I., Lehtonen, E., Keskitalo, T. ja Laita, M. (2010). Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2009. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisu 4/2010.
- Jokinen, J., Haarala, S. ja Anttila, T. (1995). Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimukset vuonna 1995 männyn vauriokartoitusmenetelmällä. Ilmatieteen laitos, ilmanlaatuosasto, Helsinki.
- Jukka, L. 1988. Metsänterveysopas. Metsätuhot ja niiden torjunta. Samerka Oy. Helsinki
- Jukola-Sulonen, E.-L. (1993). Puiden elinvoimaisuuden arvioiminen. Teoksessa Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkilä, H. ja Nieminen, T. (toim.). Metsäluento ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446, Helsinki. Gummerus, Jyväskylä.
- Jussila, I. (1997). Porin-Harjavallan ja Pohjois-Satakunnan alueen ilman laadun seuranta bioindikaattorien avulla vuosina 1996-1997. Turun yliopisto, Satakunnan ympäristötutkimuskeskus. Sykesarja B 12.
- Jussila, I., Joensuu, E. ja Laiho, P. (1999). Ilman laadun bioindikaattoriseuranta metsäympäristössä. Ympäristöopas 59. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. Edita, Helsinki. ISBN 1238-8602.
- Kalliola, R. (1973). Suomen kasvimaantiede. WSOY, Porvoo.
- Kuusinen, K., Mikkola, K. ja Jukola-Sulonen, E.-L. (1990). Epiphytic lichens on conifers in the 1960s to 1980s in Finland. Teoksessa Kauppi, P., Anttila, P. ja Kenttämies, K. (toim.). Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin. ISBN 3-540-52213-1. S. 397-420.
- Kyntäjä, M. (2011). Ilmanlaatu Seinäjoen seudulla 2011. Seinäjoen seudun ilmanlaadun seurantatyöryhmä, Seinäjoen ammattikorkeakoulu
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T. ja Lehtonen, E. (2008a). Seinäjoen seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristötutkimuslaitoksen tiedonantoja 168. Jyväskylän yliopisto
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehtonen, E., ja Ellonen, T. (2008b). Länsi-Suomen alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Jyväskylän yliopisto, ympäristötutkimuskeskus.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T. & Lehtonen, E. (2008c). Kokkolan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristötutkimuskeskuksen tiedonantoja. Jyväskylän yliopisto.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T. & Lehtonen, E. (2008d). Vaasan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristötutkimuskeskuksen tiedonantoja 168. Jyväskylän yliopisto.

Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehtonen, E., ja Ellonen, T. (2008e). Vakka-Suomen alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristötutkimuskeskuksen tiedonantoja 164. Jyväskylän yliopisto.

Lehtonen, E., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Nevalainen, S., Poikolainen, J. ja Laita, M. (2011). Pohjois-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2010. Pohjois-Karjalan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2011.

Lindgren, M. ja Salemaa, M. (1999). Metsäpuiden elinvoimaisuuden arviointi. Vuotuisen seurannan (ICP level 1) ja ympäristön yhdenmetyt seurannan koealat 1999. Metsäntutkimuslaitos.

Lodenius, M., Manninen, S., Nieminen, T., Raiskinen, H., Ranta, P. ja R. Willamo (2002). Bioindikaattorit. Ympäristönsuojelun opetusmonisteita N:o 21. Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos.

Markert, B.M., Fraenzle, S. ja Fomin, A. (2004). From the biological system of the elements to biomonitoring. Teoksessa Merian, E., Anke, M., Inhat, M. ja Stoeppler, M. (toim.): Elements and their compounds in the environments. Wiley-Vch.

Metsäntutkimuslaitos (2012). Raskasmetalli- ja typpilaskeuma Suomessa, kartoitus sammalten pitoisuuksien perusteella 1985-2010. Met-info, Metsien terveys.
<http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/tulokset.htm>. Päivitetty 13.09.2012

Metla (2011). Puiden kunnon vuotuinen seuranta ekstensiivisellä (Level I) ja intensiivisellä (Level II) tasolla. Lehti- ja neulaskadon arviointi. Metsien terveydentilan arvioinnin koulutus. Moniste.

Metsätuhotietopalvelu (2011). Metsätuhot vuonna 2011.
<http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/metsientila/metsatuhot2011.htm>. Päivitetty 17.08.2012.

Nevalainen, S. 2011. Metsien terveydentilan seurannan tuloksia Pohjois-Karjalassa, verrattuna koko maan tuloksiin. Metsäntutkimuslaitos, Muhos. Teoksessa Lehtonen, E., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Nevalainen, S., Poikolainen, J. ja Laita, M. (2011). Pohjois-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2010. Pohjois-Karjalan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2011.

Nieminen, T., Raitio, H. ja Salemaa, M. (1993). Neulasten kemiallinen koostumus elinvoimattomuksena. Teoksessa Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkilä, H. ja Nieminen, T. (toim.). Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446, Helsinki. Gummerus, Jyväskylä.

Nevalainen, S., Lindgren, M., Pouttu, A., Rantanen, H. ja Salemaa, M. (2011). Metsäpuiden elinvoimaisuuden arviointi 2011. Maasto-ohjeet laaja-alaisen seurannan koealoille. Metsäntutkimuslaitos.

Niskanen, I., Ellonen, T. ja Nousiainen, O. (2001). Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan maakuntien alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2000 ja 2001. Uudenmaan ympäristökeskus, Helsinki. Alueelliset ympäristöjulkaisut 238. ISBN 952-11-0999-8.

Polojärvi, K., Niskanen, I., Haahla, A. ja Ellonen, T. (2005). Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan maakuntien alueen ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuosina 2004 ja 2005. Uudenmaan ympäristökeskus, Helsinki. Alueelliset ympäristöjulkaisut 385.

Pöyry 2009. Talvivaaran alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna.

Raitio, H. (1987). Neulasvuosikertojen merkitys neulasanalyysin tulokinnassa. Silva Fennica, vol. 21, nro 1: 11-16.

Raitio, H. (2001). Seinäjoen seudun ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta metsäympäristössä vuonna 2000. Metsäntutkimuslaitos, Parkanon tutkimusasema.

Raitio, H., Kärkkäinen, K. ja Osmo, J. (2002). Ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta Vaasan seudulla vuonna 2000. Metsäntutkimuslaitos.

Ranta, E., Rita, H. ja Kouki, J. (2002). Biometria. Helsinki, Yliopistopaino.

Räsänen, I. ja Lepola, A. (1990). Seinäjoen, Nurmon ja Ilmajoen alueen päästöjen tarkkailuryhmä. Bioindikaattoritutkimukset 1989 sammalmenetelmällä. Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy.

Salemaa, M., Jukola-Sulonen, E-L., Nieminen, T. ja P. Nöjd (1993). Latvustunnukset ja puun kasvu elinvoimaisuuden ilmentäjinä. Teoksessa Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E-L., Mikkilä, H. ja T. Nieminen (toim.). Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446. Helsinki, Gummerus.

Seinäjoen, Nurmon ja Ilmajoen alueen päästöjen tarkkailutyöryhmä (1990). Bioindikaattoritutkimukset 1990: männyn vauriokartoitus ja neulasten rikkipitoisuus. Insinööritoimisto Paavo Ristola. 31.8.1990.

SFS 5669 (1990). Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Havupuiden neulasten kokonaisrikkipitoisuus. Näytteenotto, esikäsittely ja tulosten esittäminen. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.

SFS 5670 (1990). Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Jäkäläkartoitus. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.

SFS 5671 (1990). Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Sammalten kemiallinen analyysi. Näytteenotto, esikäsittely ja tulosten esittäminen. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.

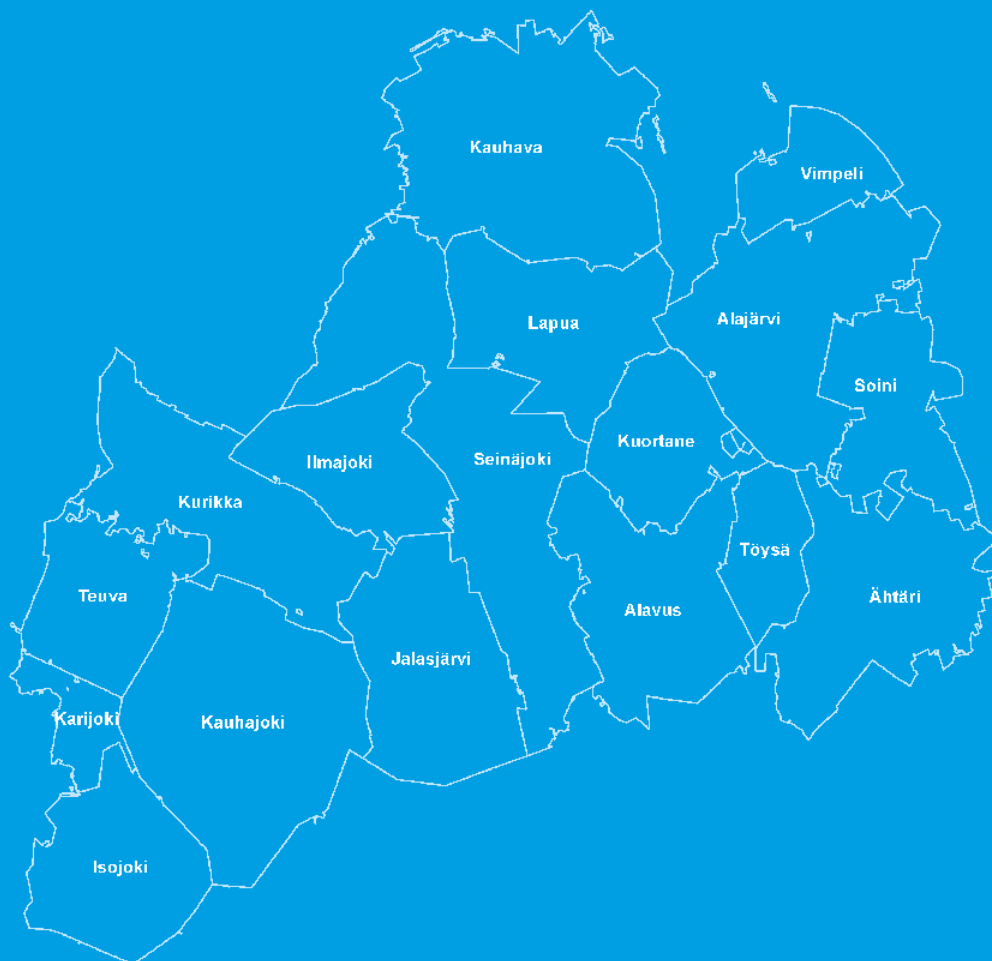
SFS 5794 (1994). Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Sammalpallomenetelmä. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.

Tuuliatlas (2009). Ilmatieteenlaitos.

Äyräs, M. ja Pohjola, R. (1996). Seinäjoen ympäristön bioindikaattoritutkimus. Geologian tutkimuskeskus, Pohjois-Suomen aluetoimisto.

OIVA- ympäristö- ja paikkatietopalvelu. Poiminat 11/2012.

Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimus 2012



Niemenkatu 73
15140 Lahti
vaihde: 020 755 611
www.ramboll.fi